
TAIMIKKOKUVIODEN INVENTOINTI NYT JA TULEVAISUUDESSA



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Metsätalous

Evo 2015

Anna Autere

Anna Autere



EVO
Metsätalous
Metsätalousinsinööri

Tekijä	Anna Autere	Vuosi 2015
Työn nimi	Taimikkokuvioden inventointi nyt ja tulevaisuudessa	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä kuvataan taimikoiden inventointia nykyhetkessä esimerkkikohteiden avulla ja tuodaan esiin tulevaisuuden mahdollisuuksia. Uusi tarkempi, halvempi tekniikka voi muuttaa taimikoiden inventoinnin. Varttuneen puuston ja metsän arvioinnissa on saatu jo tarkempaa ja luotettavampaa tietoa laserkeilausaineiston ja kännykkäsovelluksella otettavien kuvien avulla.

Tulevaisuuden tarkasteluun on haettu laajasti tietoa ja lähdeaineistoa, pohdittu taimikon inventoinnin ongelmia, mahdollisuuksia ja esitelty mahdollisia tulevaisuuden tekijöitä.

Hämeen Ammattikorkeakoulun Evon yksikön opetusmetsästä on opinnäytteeseen valittu 11 taimikkokuviota, joita tarkastellaan tämän hetkisen laserkeilausaineiston avulla. Taimikkokuviot on inventoitu maastoinventointeina.

Avainsanat Taimikko, inventointi, laserkeilaus

Sivut s. 34

Liitteet 2

Evo
Forestry

Author	Anna Autere	Year 2015
Subject of Bachelor's thesis	The Seedling stand inventory now and in the future	

ABSTRACT

The thesis is a report on the methods to do seedling stand inventories in the present and in the future. Seedling stand inventory is now at the turning point. The new studies are quickly accelerating conducted and new technique will revolutionize the field. There is already exact and quite reliable information about mature forest stands with the help of the Lidar and of the pictures which are taken with a mobile application.

Future factors, problems, possibilities of the inventory of the seedling stand have been thought about and some possibilities has been demonstrated. Information and source material have been widely searched for.

There is picked up eleven seedling stands from the education forest of the University of Applied Sciences HAMK Evo to show some problems which appears in present Lidar information. Field inventory has been made on every stand.

Keywords Seedling stand, inventory, Lidar

Pages p. 34

SISÄLLYS

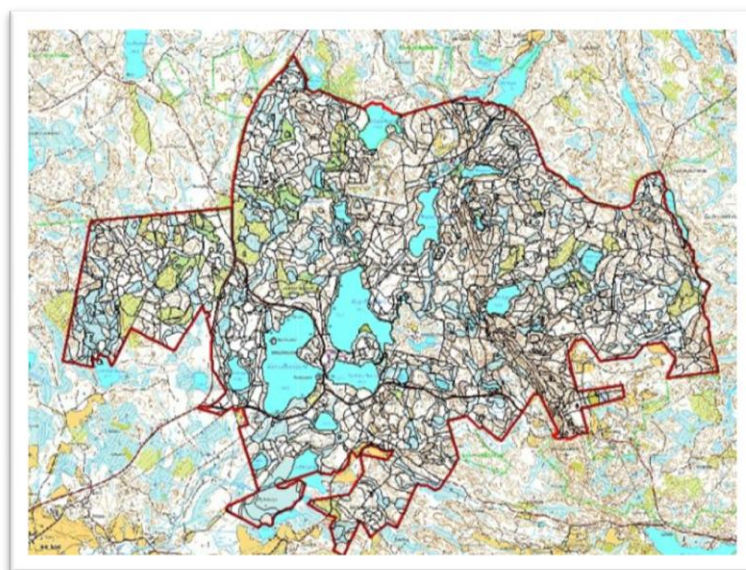
1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUSMENETELMÄT	2
3	TAIMIKKO	3
3.1	Kehitysluokitus.....	3
3.2	Taimikoiden hoitotoimenpiteet	4
3.3	Puulajit	4
3.4	Kasvupaikkaluokat ja metsämaa	5
4	TAIMIKOIDEN INVENTOINTI.....	6
4.1	Maastoinventoinnit.....	6
5	LASERKEILAUUS JA TAIMIKOT	9
5.1	Ongelmat	9
5.2	Mahdollisuudet.....	10
5.2.1	Mobiililaserkeilaimet.....	10
5.2.2	Intensiteettiarvojen tulkinta	14
5.2.3	Matemaattiset mallit	15
5.2.4	Pilvipalvelut ja tietojärjestelmien rajapintapalvelut	16
5.2.5	Mobiilisovellukset	16
5.2.6	Laserkeilauksen huippuyksiköt	17
5.2.7	Tampereen Teknillinen Yliopisto.....	17
6	ESIMERKKIKOHDE EVON OPETUSMETSÄ.....	19
6.1	Maastoinventointi.....	20
6.2	Laserkeilausaineiston mallinnus	21
6.3	Lohko 2 taimikkokuviot 15 ja 24	23
6.4	Lohko 3 taimikkokuviot 66 ja 68	25
6.5	Lohko 4 taimikko kuviot 240, 247 ja 331	27
6.6	Lohko 5 taimikkokuviot 201 ja 202	30
6.7	Lohko 7 taimikkokuvio 226	32
6.8	Lohko 7 taimikkokuvio 295	33
7	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
	LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

Metsätalousinsinöörien työ on muuttunut 2000-luvun aikana pääsääntöisesti toimistotyöksi. Yksi maastossa vielä tehtävistä töistä on taimikoiden inventointi. Maastokäyntien kustannusten vähentäminen ja taimikoiden inventoinnin luotettavuuden lisääminen laserkeilausaineiston avulla on monien eri tahojen kiinnostuksen kohteena.

Evon opetusmetsästä on valikoitu muutama pienen tai varttuneen taimikon kriteerit täyttävä kuvio, joita käytetään tutkimuksen nykyhetken kuvaamiseen (kuva 1). Taimikkokuviot on inventoitu maastossa ja niistä on tehty kasvillisuuspintamalli olemassa olevan laserkeilausaineiston avulla. Evon opetusmetsä on keilattu ensimmäisen kerran vuonna 2006. Keilausten tiheydet vaihtelevat. Keilauksia on suoritettu vuoden 2006 lisäksi 2009, 2010, 2011, 2012 ja 2014. Vuosina 2009, 2012 ja 2014 Evon opetusmetsä on keilattu Maanmittauslaitoksen pulssia tiheämpänä. Vuoden 2014 aineisto ei ollut vielä saatavilla opinnäytteeseen. (Viitala, haastattelu 24.4.2015.)

Vuonna 2005 Maa- ja metsätalousministeriö aloitti korkeusmallien lisäselvitykset ja Maanmittauslaitos yhdessä Geodeettisen laitoksen kanssa laserkeilausaineiston tuotantoprosessien kehittämisen (Lehtonen P. 2013). Tällä hetkellä Maanmittauslaitos yhdessä Metsäkeskuksen kanssa toteuttaa 'Suomi loppuun'-keilaussuunnitelmaa käyttäen harvapulssista laserkeilainta. Koko Suomesta pitäisi olla kaikkien saatavilla laserkeilausaineistoa vuoteen 2019 mennessä. Suurten puiden kohdalla leveä latvusto takaa pulssin osumisen puuhun, mutta taimien kohdalla todennäköisyys ettei laserpulssi osu taimiin, kasvaa liian suureksi. Maksimissaan laserpisteiden etäisyys toisistaan voi olla 1,4 metriä. Laserkeilausaineistosta on vuodesta 2008 alkaen voinut saada tietoa kasvillisuuden korkeudesta ja kasvillisuuspisteiden intensiteetistä. (MML 2015c.)



Kuva 1. Evon opetusmetsän alue kuviorajoinen.

Tulevaisuudessa taimikoiden inventointi voi muuttua ylilentoja halvemman ja tarkemman laserkeilausaineiston avulla. Suomeen on perustettu vuonna 2014 Suomen Akatemian valitsema ja rahoittama laserkeilauksen huippuyksikkö 2014–2019, jossa on tutkijoita eri aloilta. Heidän tehtävänä on edistää suomalaista laserkeilausosaamista ja viedä tutkimusta eteenpäin. Mukana on osajia Geodeettiselta laitokselta, Helsingin yliopistosta, Oulun yliopistosta ja Aalto-yliopistosta. Miehitämätön matalalla lentävä lennokki laserkeilaimella mahdollistaa entistä tarkempaa aineistoa tulevaisuudessa samalla alentaen kustannuksia. (Paikkatietokeskus 2014 ja paikkatietomarkkinat 5.11.2014. Helsinki Pasila.)

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Taimikoiden inventointia on tarkasteltu tässä hetkessä ja etsitty tutkimuksia ja artikkeleita mahdollisista uusista taimikon inventointimenetelmistä. Opinnäytteen tarkoituksena on kerätä yhteen irrallaan olevaa tietoa ja pohtia tämän hetkisiä ongelmia ja tulevaisuuden mahdollisuuksia. Suomen Akatemian valitsemat laserkeilauksen huippuyksiköt ylläpitävät sivustoa, jonne on koottu kattavasti laserkeilauksen liittyviä projekteja. Taimikoiden inventointi on vain hyvin pienenä osana mukana näissä tutkimuksissa. (Centre of Excellence in Laser Scanning Research 2015a.)

Tarve tiedon keruuseen on lähtenyt omasta tarpeesta. Opinnäytteen ensimmäisenä tarkoituksena oli jatkaa jo olemassa olevia tutkimuksia taimikoiden inventoinnin luotettavuuden parantamiseen laserkeilausaineiston ja ominaisuustietojen avulla. Tietoa etsiessäni totesin suurimman ongelman olevan tällä hetkellä saatavassa laserkeilausaineiston tiheydessä. Uskon, että jo olemassa olevat matemaattiset mallit ja tutkimukset ovat luotettavia, kun saadaan tarkempaa aineistoa. Tämän tarkemman aineiston saanti on tullut jo mahdolliseksi, ja näitä mahdollisuuksia haluan tuoda esiin opinnäytetyössäni.

3 TAIMIKKO

Suomessa päätehakkuuta seuraa aina metsän uudistaminen. Taimikko voi syntyä luontaisesti, istuttamalla tai kylvämällä. Taimikot luokitellaan puiden pituuden ja läpimitan mukaan eri kehitysluokkiin. Taimikon kehitykseen vaikuttavat muun muassa uudistamistapa ja sen aikana mahdolliset tapahtuneet virheet, maalaji, sijainti, taimien alkuperä, puulaji, ravinteet, hirvien ja myyrien esiintyminen, muut taimituhot jne. Sääolosuhteet saattavat aiheuttaa joillakin alueilla hallatuhoja ja myrskytuhoja. Maanpinnanmuodoilla on merkitystä taimikon kehittymiseen.



Kuva 2. Istutettua kuusen taimikkoa Evon opetusmetsän alueella.

3.1 Kehitysluokitus

Taimikot luokitellaan Tapion mukaan taimien keskipituuden, runkoluvun ja keskiläpimitan mukaan pieniksi ja varttuneiksi taimikoiksi (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2006a). Varttuneeksi taimikoksi luokitellaan taimikot joiden keskipituus on yli 1,3 metriä ja runkoluku ylittää uusimistiheyden. Keskiläpimita rinnankorkeudella pitää olla alle 8 cm ja valtapituuden alle 7 metriä kuusella ja männyllä ja koivulla alle 9 metriä. Siemenpuumetsikköä käytetään männyllä ja koivulla, kun taas kuusen uudistamiseen käytetään suojuspuita. Ylispuustoinen taimikko on kaksijakoinen metsikkö, joka on kehittynyt suojuspuumetsiköstä tai suojuspuumetsiköstä vaiheeseen jossa hoitotoimenpiteenä on ylispuiden poisto. Aukea on puuttomien alojen lisäksi ala, jolla kasvaa myyntikelvotonta ja korjaamatta jäänyttä säästö- tai verhopuustoa. Vajaatuottoisuus määritellään eri tavalla eri puolilla Suomea. Kun kehityskelpoisia taimia ei ole muodostunut Etelä- ja Väli-Suomessa uudistamisen jälkeen kymmenessä vuodessa ja Pohjois-Suomessa viidessätoista vuodessa vakiintumisrajaa vastaavaa määrää alalle, luokitellaan se aukeaksi. Laserpulssien tiheyden ollessa harva voi olla että osa taimikoista näyttää tuloksissa aukeilta.

3.2 Taimikoiden hoitotoimenpiteet

Taimikoiden hoitotoimenpiteillä pyritään lisäämään puiden tai valittujen puulajien kasvua, metsikön tiheyttä, tuottoa ja laatua. Toimenpiteiden oikea ajoitus antaa parhaimman tuloksen. (Taulukko 1).

Taimikonhoito

Taimikonhoidon suositeltava vaihe ja tiheys hoidon jälkeen

Etelä- ja Väli-Suomi	Kasvupaikka ja kasvatusmalli	Valtapituus (m)	Runkoluku (kpl/ha)
Mänty	Tuore tai kuivahko kangas Perusmalli ja intensiivinen kasvatus	5–7	2 000–1 800
	Kuivahko kangas Laatupuun kasvatus	5–7	2 500–2 000
	Kuiva kangas Laatupuun kasvatus	3–5	noin 2 000
Kuusi	Lehtomainen tai tuore kangas Perusmalli ja järeä tukkipuu	3–4	1 800–1 600
	Lehtomainen kangas lyhyt kiertoaika	3–4	1 600
Rauduskoivu	Lehtomainen tai tuore kangas	4–7	1 600
Hieskoivu	Yleensä mustikka- turvekangasta paremmat turvemaat	5–8	2 500–2 000
Lehtikuusi	Lehtomainen tai tuore kangas	4–7	1 300
Haapa	Lehtomainen kangas Kuitupuun kasvatus	3–5*	1 400–1 000
	Lehtomainen kangas Tukkipuun kasvatus	6–8	2 000–1 600

* tiheä vesataimikko jo 2–4 metrin pituudessa, 2 000–1 800 kpl/ha

Pohjois-Suomi	Mänty	Kuusi	Hieskoivu
Valtapituus, m	3–5	2–4	5–8
Runkoluku, kpl/ha	2 500–1 800	2 000–1 800	2 500–2 000

Taulukko 1. Tapion hyvän metsänhoidon suositusten mukainen taimikonhoidon ajoitus (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2006a).

3.3 Puulajit

Suomessa uudistusaloille istutetaan pääasiassa kolmea eri puulajia; mäntyä, kuusta ja koivua. Tietty kasvupaikka sopii toiselle puulajille paremmin kuin toinen. Kasvupaikasta ja maaperästä voidaankin jo tehdä päätelmiä puiden kasvusta ja hoitotoimenpiteiden tarpeesta. Näitä pohjatietoja, ominaisuustietoja voidaan hyödyntää hoitotarpeita arvioitaessa. Myös taimen alkuperä vaikuttaa taimen kasvuun.

Mänty menestyy parhaiten kuivahkoilla kankailla. Myös karut kankaat ja korvet sekä rämeet soveltuvat hyvin männyn kasvatukseen. Hidas kasvu tuottaa laadukasta puuainesta. Mäntyä voidaan kasvattaa myös tuoreella kankaalla sekä sekametsänä. Männyn taimikko perustetaan tiheänä. Etelä-Suomessa uudistamisen tavoitetiheys suositus kylvön jälkeen on 4 000 – 5 000 tainta/ha, istuttamalla 2 000 tainta/ha. Turvemaiden kasvuolosuhteissa on paljon muuttujia verrattuna kangasmaihin.

Parhaiten kuusi kasvaa hietamoreeninirinteillä. Maaperän pitää olla ravinteikasta ja pohjaveden virtaavaa. Hiesumoreeni ja tiivis savimaa eivät ole hyviä kuuselle. Taimivaiheessa kuusen kasvu on hidasta.

Taimikkokuvuioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Koivu tarvitsee paljon valoa kasvaakseen. Koivu lisääntyy luontaisesti helposti ja ilmaantuvat itsestään valoisille ravinteisille hakkuualoille. Koivu kestää hallaa paremmin kuin kuusi. Turvemaiilla rauduskoivu ei selviä toisin kuin hieskoivu. Koivua voidaan uudistaa sekä istuttamalla että luontaisesti. Valon tarpeen ja riukuuntumisen estämiseksi koivulla suositellaan varhaista ja voimakasta ensiharvennusta (kuva 3.). (Metsäkoulu 2005.)



Kuva 3. Koivikon harvennus, Lepaa Ratontie.

3.4 Kasvupaikkaluokat ja metsämaa

Metsämaat jaetaan kivennäis- ja turvemaihin. Kivennäismailla kasvupaikat jaetaan kuuteen eri pääluokkaan maan viljavuuden ja vesitalouden perusteella. Kivennäismaalla kasvaa suurin osa Suomen metsistä. Kasvupaikkaluokat ovat (kuva 4.), lehtomainen kangas, tuore kangas, kuivahko kangas, kuiva kangas ja karukkokangas. Mitä viljavammasta metsätyypistä on kyse, sitä todennäköisempää on heinittymisen eston tarve ja muun kasvillisuuden raivauksen tarve taimikossa. Viljavuuden vähentyessä taimien kasvua hidastaa eniten maanpinnalle kerrostunut kunta. Viljavilla metsämailla myös paksu lehtikarikerkerros voi tukahduttaa taimien alut. Kunttaantumisen on todettu olevan suurempaa korkeilla vedenjakaja-alueilla sekä pohjois- ja itärinteillä. Tuoreet kankaat ovat Etelä-Suomessa yleisimpiä metsätyyppejä. Tuoreilla kankailla sekä kunttaantuminen että heinittyminen on runsasta.



Kuva 4. Lehto luonnonsuojelualue Vahopää, Lepaa 2015.

4 TAIMIKOIDEN INVENTOINTI

Taimikoiden inventoinnin tarkoituksena on saada tietoa taimikon tiheydestä, hoitotoimenpiteiden tarpeesta ja kiireellisyydestä. Tiheyden, eli runkoluvun lisäksi hoitotarpeen määrittämiseen vaikuttavat puulajisuhteet ja taimien järjestyminen toisiinsa nähden kuviolla. Taimikon inventointi tulee ajankohtaiseksi kun, istutuksesta on kulunut kolme vuotta ja kylvöstä 3-5 vuotta. Luontaisen uudistamisen inventointikäyntejä voidaan joutua tekemään uudistumisen onnistumisesta riippuen useampina vuosina.

Inventoinnit tehdään edelleen erillisinä maastokäynteinä joissa arvioidaan hoidon tarvetta ja määritellään tiheys. Tiheyden ja runkoluvun suosituksissa on pieniä eroja riippuen organisaatiosta ja taimikon sijainnista.

4.1 Maastoinventoinnit

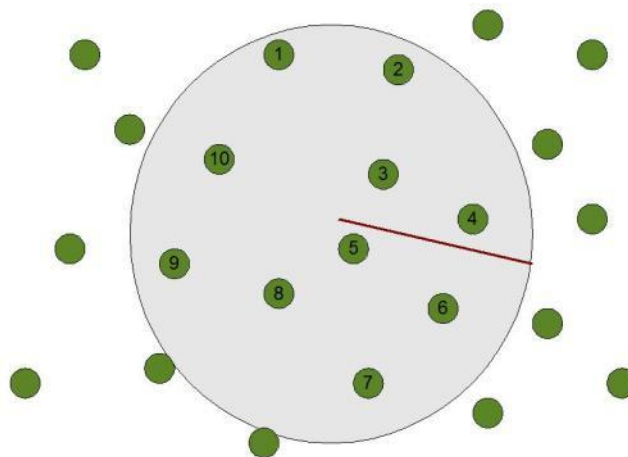
Ympyräkoealoja valitaan tasaisin välein pitkin kuviota tai linjoittain. Ympyräkoealalta, jonka säde on 3,99 m, saadaan hehtaarikohtainen taimien tiheys, kertomalla saatu lukumäärä 200:lla (kuva 5). Kylvötuppaista lasketaan koealalle vain yksi taimi ja ryhmistä etäisyyttä arvioiden mahdollisesti kaksi. Laskennassa on koko ajan pidettävä silmällä jätettävien taimien sijoittumista toisiinsa nähden, laatua, korkeutta ja puulajia. Ympyräkoealoilta saadut hehtaarikohtaiset arviot otetaan ylös ja lasketaan keskiarvo kuviolle puulajeittain. Samalla inventoinnissa pyritään huomiomaan taimikon laatua, mahdollista aukkoisuutta, tihentymiä ja hoidon tarvetta. (Puuntuottaja 2012.)



Kuva 5. Yksittäisen ympyräkoealan otto (Metsäkoulu 2005, 79).

kepinpituus	pinta-ala m ²	ha / ala	~kerroin
2	12,6	796	800
3	28,3	354	350
4	50,3	199	200
5	78,5	127	125
6	113,1	88	90
7	153,9	65	65
8	201,1	50	50

Taulukko 2. Ympyräkoealan mittaamisessa käytettävien keppien muuntokertoimet (Puuntuottaja 2012).



Kuva 6. Yksittäinen ympyräkoeala (Puuntuottaja 2012).

Taimikonhoidolla ja sen ajoituksella voidaan vaikuttaa tulevan puuston laatuun ja kasvuun. Metsään-lehden artikkelissa vuonna 2013 Aino Ässämäki toteaa tuoreimman valtakunnallisen inventoinnin kertovan taimikoiden ja nuorten metsien laadun heikkenemisestä. Suurimpina syinä laadun heikkenemiseen olisi tekemättä jääneet heinän ja vesakon poistot. (Ässämäki A., Selander A. 2013.)

Metsäkeskus käyttää kohdennetusta maastoinventoinnista nimitystä komi, joka on osa Metsäkeskuksen Aarni-järjestelmää. Komi erittelee suoraan maastossa läpi käytävät epäselvät kuviokohteet. Näihin kuuluvat aukeat (AO), pienet taimikot (T1), siemen- (SO) ja suojuspuumetsiköt (O5) ja ylispuustoiset taimikot Y1. Varttuneet taimikot on rajattu pois, koska vuonna 2011 on katsottu, että maastoinventointitarve vähenisi niiden osalta aineiston tarkentumisen ja kehityksen myötä. Metsäkeskus rajaa maastoinventointikohteista pois myös kuviot, joilta on saatavissa muuten luotettavaa tietoa kuvion tilasta. (Hyytiäinen O. 2011.)

Metsäntutkimuslaitos on julkaissut vuonna 2008 tutkimusartikkelin taimikonhoidon kiireellisyyden määrittämisestä laserkeilausaineiston ja metsäsuunnitelmatietojen avulla. Artikkelissa on todettu että, tutkimuksen tulokset antavat viitteitä siitä, että laserkeilausta voitaneen tulevaisuudessa hyödyntää myös varttuneiden taimikoiden inventointiin ja taimikonhoidon kiireellisyyteen. Artikkelissa kerrotaan myös ennen vuotta 2008 taimikon

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

inventoinnin tutkimuksista. (Närhi, Maltamo, Packalen, Peltola ja Soimasuo 2008.)

Maastokäynnit vievät työaikaa ja taimikon inventointi saattaa tuottaa erilaisia tuloksia riippuen inventoijasta ja ympyräkoealojen sijainnin valinnasta. UPM tarjoaa taimikoninventointia palveluna, jonka kustannukset ovat metsänomistajalle 47 €/ha + alv 24 %. (UPM Metsämaailma 2008-2013.)

5 LASERKEILAUS JA TAIMIKOT

Laserkeilausta hyödynnetään koko ajan enemmän niin metsätaloudessa kuin muunkin ympäristön analysoinnissa ja tutkimuksessa. Sillä saadaan luotua kolmiulotteista dataa ja kuvaa ympäröivästä maailmasta. Maanmittauslaitoksen avoin laserkeilausaineisto on keilattu ilmasta käsin ylilennoilla. Laserkeilain lähettää säteen, joka kohteeseen osuttuaan heijastuu takaisin ja näistä osumista muodostuu heijastus. Näistä heijastuksista syntyy pistepilvi. Mittausetäisyys, lähetettyjen säteiden määrä neliölle ja keilaimen kulma vaikuttavat aineiston tarkkuuteen. Pulssien tiheys neliömetrillä ja footprint, eli jalanjälki, vaikuttavat saatavan pistepilven kattavuuteen. Pistepilven piste sisältää X-, Y- ja Z-koordinaattitiedon lisäksi intensiteetin eli sen, kuinka paljon energiasta heijastuu takaisin. Intensiteetin voimakkuus näkyy dataa käsitellessä eri sävyissä vaaleasta tummaan. (Neopoint Oy 2014.)

Puut, kasvit ja eri materiaalit omaavat erilaisen ominaissäteilyn. Intensiteetin avulla voidaan erottaa laseraineistosta jo puulajeja toisistaan. Jokaisesta laserpulssista on tallennettuna vähintään seuraavat tiedot: pisteen luokka, lentojonon numero, lähtöpulssin aikaleima, X-, Y- ja Z-koordinaatti, intensiteettiarvo sekä pulssin numero (esimerkiksi 3/3, viimeinen paluupulssi).

5.1 Ongelmat

Maanmittauslaitoksen laserpulssin tiheys on 0,5 pistettä/m². Maksimissaan laserpisteiden etäisyys toisistaan voi olla 1,4 metriä riippuen keilaimen säteen osumakulmasta. Huonoimmalla tuloksella voi olla, ettei yksikään laserpulssi ole osunut pieniin taimiin, jolloin kuvio voi näyttää aukealta. Sen lisäksi taimien korkeudella voi kasvaa muutakin, josta säde on heijastunut takaisin. Maanmittauslaitoksen sivuilla on ladattavissa vain uusin laserkeilausaineisto aluetta kohden. Halutessaan ei voi tehdä vertailua maanpinnanmuodonmuutoksista tai puuston kehityksestä eri vuosilta alueittain. Ylilennoilla keilattu aineisto saadaan kaikkien saataville noin puolen vuoden jälkeen, mutta keilauksia ei suoriteta vuosittain. Ylilennon kustannukset n. 50 €/min. Laserkeilausaineiston ajantasaisuus taimikoiden kohdalla, jolloin puiden kasvussa ja tiheydessä tapahtuvat muutokset ovat kiivaimmillaan, olisi oleellista. Jotta saavutetaan luotettavuus laserkeilausaineiston dataan, on taimikkokuviot inventoitava samaan aikaan kun alue on keilattu.

Laserpulssin intensiteettiarvojen tarkempi luokittelu on vaikeaa, sillä intensiteettiin vaikuttavat mittausetäisyys, kuvausolosuhteet ja kulma, millä pulssi on osunut kohteeseen.

Laserkeilausaineiston koko, tietojen säilytys ja käsittely vaativat tietotekniikalta paljon. Työskentely massiivisten aineistojen kanssa voi aiheuttaa ohjelmien kaatumista kesken käsittelyn, tallennustilan puutetta ja viedä aikaa. Aineistoja leikkaamalla pienempiin osiin saadaan käsittelyä nopeutettua jonkin verran.

Markkinoille on vuoden 2014 kuluessa tullut kevyitä laserkeilaimia maasta lennätettäviin koptereihin ja lennokkeihin. Lainsäädäntöä on pyritty pitämään kehityksen perässä ja marraskuussa 2014 ilmailulakia on muutettu ajantasaisemmaksi. (Linko M. 2014, 13).

5.2 Mahdollisuudet

Laserkeilaimia kehitetään koko ajan tarkemmiksi ja kevyemmiksi. Maailman ensimmäisen kevytlaserskanneri miehittämättömään lennokkiin on kehitetty jo vuonna 2009. Laiteteknologia koki yhden suuren askeleen eteenpäin Itävaltalaisen Riegl:n lanseerattua syksystä 2014 markkinoille auton peräkonttiin mahtuvan RiCopterin kevyellä VUX-1 laserkeilaimella. Ylilennoilla keilatusta aineistosta saadaan nyt jo maanpintamallin ja kasvillisuudenpintamallin erotuksena luotettavaa tietoa puuston korkeudesta. Jokaisella laserpulssilla on erilaisia intensiteettiarvoja, joiden avulla voidaan määritellä mihin pulssi on osunut. Mitä pidemmälle intensiteettiarvojen luokittelussa päästään ja mitä tiheämpää aineistoa on saatavilla, sitä luotettavampia analyyseja voidaan muodostaa. Amerikassa on lanseerattu 2011 kannettava laserskanneri tulilleille, jonka pulsseista saadaan tietoa mm. henkilön mahdollisesti käsittelemistä huumeista tai ruudista käsissä. Amerikassa ylilennoista saatavaa dataa tutkitaan runsaasti ja erityisesti kannabisviljelmien tunnistusta kasvillisuuspeitteen alta (Allen St. Pierre 2012).

5.2.1 Mobiililaserkeilaimet

Laserkeilausteknologia kehittyy huimaa vauhtia. Laserkeilaimia kehitetään kevyemmiksi ja tarkemmiksi. Mobiililaserkeilaimia voi lennättää miehittämättömillä koptereilla ja lennokeilla, maasta käsin ajamalla mönkijällä tai kantamalla sellaista selässään. Nämä uudet laitteet tuovat kustannuksia alas perinteisestä laserkeilauksesta ja laserkeilauksen lähemmäksi kansalaisia. Taimikkoa keilattaessa lennätettävät ja selässä kannettavat laserkeilaimet soveltuvat mönkijöillä kuljetettavia paremmin. Mönkijöillä kuljetettavia laserkeilaimia voidaan alkaa käyttää, kun puusto on varttuneempaa ja harvempaa.

Matalalla lentävät miehittämättömät lennokit ja kannettavat laserskannerit pystyvät keilaamaan ympäristöä huomattavasti tiheämmällä pulssilla kuin ylilentävä miehitetty lentokone. Kun lentokoneesta ylilennoilla saatu pistetiheys on maanmittauslaitoksella n. 0,5 pistettä/m², niin kannettavilla ja lennätettävillä laserkeilaimen pulssi voi olla 20–40 pistettä/m². Keilaamisen kustannukset saadaan matalammaksi ja keilaus voidaan suorittaa pienemmillä aloilla erikseen tarpeen mukaan. Laserkeilausdata on nopeammin niin tutkijoiden kuin tulevaisuudessa muidenkin jatkokäyttäjien saatavilla. 1-2 hehtaarin lentoalueesta tutkija saa jo saman päivän aikana pistepilveä analysoitavaksi. (Europeus J. 2015, 8-10.)

	MML:n laserkeilaus	Riegl VUX-1
Pulssintiheys	0,5 pistettä/ha	20-40 pistettä/ha
Lentokorkeus	2000 m	150-350 m
Korkeustarkkuuden keskivirhe	Max 15 cm	10 mm
Tasotarkkuuden keskivirhe	Max 60 cm	10 mm
Avauskulma	+/- 20 °	Kuvaus kulma +/- 330 ° Kuvauskulman resoluutio 0,001°
Footprint	50 cm	50 mm @ 100 m, 250 mm @ 500 m, 500 mm @ 1000m
Aineiston saatavuus/käsittelyaika	n. 6 kk	1-2 ha alalta saman päivän aikana

Taulukko 3. Vertailu Maanmittauslaitoksen ja Riegl VUX-1 laserkeilainten välillä.

Geodeettinen laitos on hankkinut Riegl:n RiCOPTER VUX-1 2014 loppuvuodesta (Paikkatietomarkkinat 2014). Riegl on Itävaltalainen yritys, jolla on yli 30 vuoden kokemus laserskannaukseen liittyvästä tutkimus- ja kehitystyöstä (Riegl 2015c).

Riegl lanseerasi kyseisen kopterin ja laserkeilaimen RiCOPTER VUX-1 vuoden 2014 syksyllä maailman markkinoille, keilain yksistään on tullut markkinoille jo tammikuussa 2014 (kuva 7). Laserkeilaimen lisäksi lennokkiin voidaan liittää erilaisia muita kameroita, kuten infrapunakameran.

Videoita Riegl:n lennokista:

<https://www.youtube.com/watch?v=1mqHQZ39O1> ja
<https://www.youtube.com/watch?v=qDbFdeNfSo8>.



Kuva 7. Riegl:n RiCOPTER.

Taimikkokuvuioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Kevyitä laserskannereita löytyy markkinoilta tällä hetkellä muutamia malleja (kuva 8) ja Riegl kehittää jo seuraavia versioita omasta VUX-1 laserskanneristaan.



Kuva 8. Kolme kevyttä laserkeilainta (Phoenix Aerial Systems 2014).

Amerikassa Velodyne on tuonut markkinoille toukokuussa 2015 laserkeilaimen, jota markkinoidaan halpana kaikkien saatavilla olevana kevyenä vaihtoehtona. VLP-16, eli Lidar Puck, ei ole niin tarkka kuin muut, ja sen kehityksessä mukana ollut professori Richard Olsen sanoo että teknologisesti parempi vaihtoehto olisi Riegl:n VUX-1, joka tosin on painavampi ja kalliimpi. Hintaa Velodyn VLP-16 tulee alle 8.000 dollaria. Velodynellä on tarjolla myös tarkempia ja kalliimpia laserkeilaimia (kuva 9). (Higgins S. 2014.)

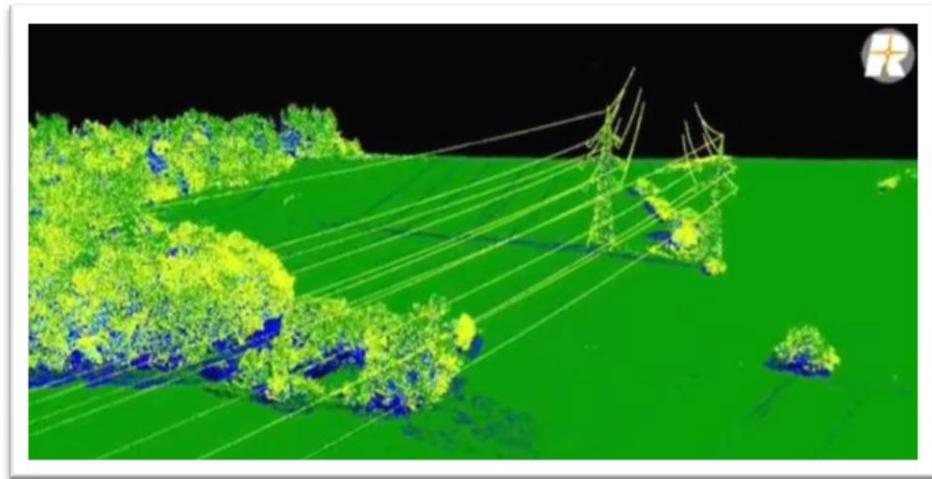


Kuva 9. Amerikkalaisen Velodyn laserkeilaimet, pienin VLP-16 eli Puck.

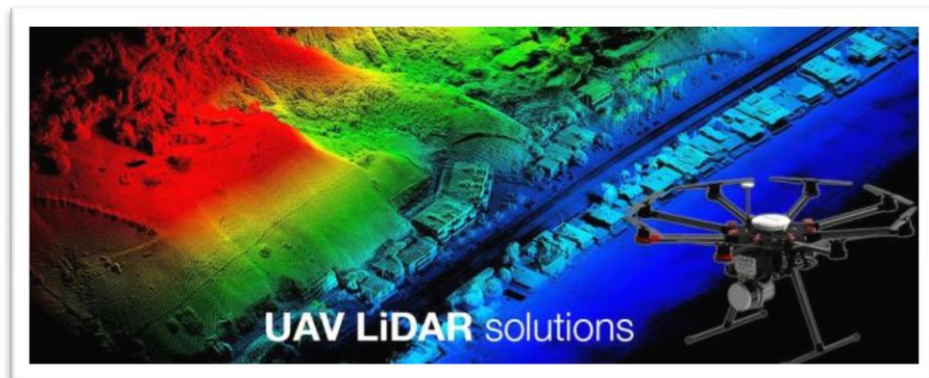
Uudet kevyet laserkeilaimet mahdollistavat halvemman ja ajantasaisemman aineiston saannin. Kevyille keilaimille on luotu erilaisia

Taimikkokuvuioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

järjestelmiä, jossa keilausaineisto voidaan käsitellä jo saman vuorokauden aikana. Kun pulssin tiheys on 20–40 pistettä/m², ovat tiedostokoot suuria. Tampereen teknillisen yliopiston mukaan on mahdollista jo nyt käsitellä 1–2 hehtaarin alueen laserkeilausdata saman päivän aikana (Europeus J. 2015, 8-10). Kuvassa 10. on esimerkki Riegl:n VUX-järjestelmän pistepilven tarkkuudesta ja kuvassa 11. Phoenix AL3:n keilatusta pistepilvestä tuotetusta korkeusmallista.



Kuva 10. Riegl RiCOPTER ja VUX-järjestelmän avulla saatua pistepilveä.



Kuva 11. Laserskanneri Phoenix AL3, DJI S1000 kopterissa (Phoenix Aerial Systems 2014).

Taimikoiden inventointiin voidaan käyttää myös selässä kannettavia laserskannereita (kuva 12.). Taimikoiden tiheyden ja tuhojen estämisen vuoksi on rajattu pois mönkijöillä kuljetettavat mobiiliskannerit.



Kuva 12. Selässä kannettava laserkeilain (Centre of Excellence in Laser Scanning Research 2015b).

5.2.2 Intensiteettiarvojen tulkinta

Osa tutkijoista on keskittynyt pulssien sisältämän tiedon tulkintaan. Classification, eli luokittelu arvojen avulla, tarkoittaa sitä, että laserkeilausaineistosta voidaan erotella mm. havu- ja lehtipuut. "Esimerkiksi saksalainen J. Reitberger on saavuttanut automaattisessa havupuu-lehtipuu-luokittelussa 85 % (puissa lehdet) ja 96 % (lehdetön aika) tuloksia." (Nordic Geo Center Oy 2013.)

Suotyyprien luokittelua on testattu Metsähallituksessa Ilkka Korpelan toimesta Oriveden Lakkasuolla ja Juupajoen Silmäpäänlammilla. Tutkimusaiheita olivat suon pinnanmuotojen mallintaminen, intensiteetin vaste eri kohteille ja kasvupaikkaluokitus laserkeilauksen avulla. Tutkimuksessa todettiin että maaosumien vaste kasvillisuudelle oli heikko, mutta kosteudelle hyvä. Kenttäkerrososumien sekoittuminen maaosumiin oli ehkä kyseenalaista. Viitteitä tästä 2010 esittelystä tutkimuksesta voi saada intensiteetin paljastavan kosteustasapainosta. (Korpela I. 2010 ja (Korpela I. 2004-2010.)

3. Intensiteetin käyttö

Table 5. Mean intensity of first-or-only returns in a crown. Combined sensor, *comb_fo_cr_mean_IFus*.

Species	Forest trees			Semiurban trees		
	N	Mean	SD	N	Mean	SD
Broad-leaved						
<i>Acer platanoides</i> L.	1	90.0	-	33	78.2	11.6
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner	67	65.6	9.7	16	59.6	12.9
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	22	57.3	16.2	89	62.8	12.1
<i>Betula pubescens</i> Ehrh., <i>B. pendula</i> Roth – living	1878	54.9	10.6	101	50.8	11.8
<i>Betula</i> L. spp. – dead standing	6	22.8	8.9	-	-	-
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	-	-	-	2	83.7	7.5
<i>Populus tremula</i> L.	34	49.1	11.0	65	55.1	11.3
<i>Prunus padus</i> L.	-	-	-	1	84.4	-
<i>Quercus robur</i> L.	-	-	-	2	73.6	7.4
<i>Salix caprea</i> L.	21	61.8	11.5	67	73.0	11.4
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	48	70.3	14.8	31	72.6	14.7
<i>Tilia cordata</i> Mill.	-	-	-	9	65.9	6.4
<i>Ulmus glabra</i> Huds.	-	-	-	8	58.3	10.2
Conifers						
<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	7	64.6	5.4	45	72.6	9.6
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	41	45.9	6.2	17	64.3	8.6
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst – living	6062	51.8	6.2	32	50.7	6.3
<i>Picea abies</i> – dead standing	95	31.4	7.7	-	-	-
<i>Picea omorika</i> (Pancic) Purk.	3	59.5	3.4	-	-	-
<i>Pinus cembra</i> L.	-	-	-	9	56.4	5.4
<i>Pinus contorta</i> Douglas ex Loudon	-	-	-	2	47.5	5.4
<i>Pinus sylvestris</i> L. – living	4982	41.7	5.6	39	48.9	6.9
<i>Pinus sylvestris</i> – dead standing	25	26.4	9.8	-	-	-
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	6	55.2	3.6	1	66.3	-
<i>Thuja occidentalis</i> L.	-	-	-	1	74.6	-

90% tarkkuus
(mä, ku, ko) –
luokituksessa.
 $\lambda = 1064 \text{ nm}$
1 Km a.g.l.
> 10 p/m².

Taulukko 4. Intensiteetti arvoja puulajeittain (Korpela I. 2004-2010).

Pauliina Kulha on opinnäytteessään tutkinut Evon opetusmetsän alueella intensiteettiarvoja vuoden 2006 laserkeilausaineistojen pohjalta. Aineistoja hänellä on ollut saatavilla kahdelta eri lentokorkeudelta 800 m ja 1900 m. Kohteena on ollut taimikot ja nuoret kasvatusmetsiköt. Opinnäytteessä oli ollut tarkoituksena selvittää intensiteettiarvojen hyödyntämistä hoitotarpeen arvioinnissa. Kasvupaikkaluokan ja puulajin tunnistaminen ei onnistunut 2006 vuoden aineistoista, mutta erilaisien taimikoiden erottaminen toisistaan onnistui. Heinittyneet taimikot erottuivat tutkimuksessa vahvalla intensiteetillä, mäntytaimikot keskivahvalla ja nuoret kasvatusmetsät heikolla intensiteetillä. (Kulha P. 2009)

Intensiteettiarvo voi vaihdella eri keilausaineistoa analysoitaessa. Intensiteettiin vaikuttavat mittausetäisyys, sääolosuhteet, vuodenaika ja kulma millä pulssi on osunut kohteeseen. Keilatun aineiston intensiteettiarvot ovat luokiteltavissa luotettavammin, kun keilaus on tehty pienellä kulmalla ja keilaus voidaan tehdä monilla alueilla järjestelmällisesti käyttäen samoja etäisyyksiä ja kulmia.

5.2.3 Matemaattiset mallit

Matemaattisia malleja taimikoiden hoitotarpeen arvioinnista on olemassa, mutta ne eivät ole antaneet harvapulssisella keilausaineistolla tarpeeksi luotettavia tuloksia. Tulevaisuudessa olisikin hyvä testata jo olemassa olevien mallien toimivuus tiheimmällä laserkeilausaineistolla. Tapio Kamppila on vuonna 2014 todennut opinnäytteessään Laserkeilauksen luotettavuus taimikoissa, että hoitotarpeelle luotavat mallit ovat antaneet toistaiseksi parempia tuoksia kuin puustotietomallinnukset. Maa- ja metsätalous ministeriö on tutkinut aihetta 2012 ja Närhi, Maltamo, Packalen, Peltola & Soimasuo vuonna 2008. Tapio Kamppila sai omalle matemaattiselle mallilleen taimikon runkoluvun laskentaan

Taimikkokuvuioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

luotettavuudeksi harvapulssisella aineistolla 23–57%. Pistetiheys on ollut keilauksessa Maanmittauslaitoksen ilmoittamaa 0,5 pistettä/m² vielä hiukan tiheämpi 0,74 pistettä/m². (Kamppila Tapio 2013, Närhi, Maltamo, Packalen, Peltola ja Soimasuo 2008.)

Kun tulevaisuudessa pystytään keilaamaan pieniä alueita monin kertaisesti tiheämmällä pulssilla, voivat monet jo luodut matemaattiset mallit tuottaa luotettavaa dataa.

5.2.4 Pilvipalvelut ja tietojärjestelmien rajapintapalvelut

Pilvipalvelut ja tietojärjestelmien rajapalvelut mahdollistavat yhä suurempien tiedostojen tallennuksen, käsittelyn ja jakamisen erilaisille ryhmille, esimerkiksi tutkimusryhmälle tai yrityksen työntekijöille. Maanmittauslaitoksen ilmainen data-aineisto toimii Oskari-alustan päällä, jonka kehittämistä tutki työryhmä 31.1.2014–30.01.2015. Päämääränä oli yhtenäistää julkishallinnon ja muiden yhteiskunnallisten toimijoiden paikkatietojärjestelmiä. (Valtionvarainministeriö 2015.)

Julkinen hallinto rahoittaa saatavilla olevaa dataa ja palveluja. Paikkatietoaineistoa on laserkeilausaineiston lisäksi saatavilla Suomessa eri lähteistä. Maanmittauslaitoksen sivuilta ladattava aineisto on kaikkien saatavilla. Osa tiedoista on maksullisia ja esimerkiksi kiinteistön omistajien tiedot eivät ole saatavilla, vaikkakin kiinteistöjen ja tilojen rekisteritunnukset ovat.

Suurilla paikkatietosovellusten kehittäjillä on omia pilvipalveluja, joihin voi tallentaa ja julkaista karttoja ja analyyseja.

QuantumGIS pilvipalvelusta löytyy ohjeistusta:

<https://qgiscloud.com/pages/quickstart>

ja ArcGIS:n pilvipalvelusta esimerkiksi:

<http://www.esri.com/news/arcnews/summer11/articles/why-use-cloud-infrastructure-for-arcgis.html>.

5.2.5 Mobiilisovellukset

Varttuneen metsän inventointiin on tullut kaikkien saatavilla oleva Trestima-metsänmittausjärjestelmä joka toimii niin Windows- kuin Android-pohjaisissa älypuhelimissa. Älypuhelimella sovelluksessa otetaan metsästä kuvia, jotka siirtyvät Trestiman pilvipalveluun analysoitavaksi. Analysointi tapahtuu konenäöllä ja hankalammissa koneissa tukena toimii tarvittaessa ihminen. Pilvipalvelussa dataa voidaan tarkastella jälkikäteen ja tallennuskapasiteettia on rajattomasti. Analysoinnin jälkeen inventoija saa puhelimeensa puustotunnusraportin josta selviää puulajeittain pohjapinta-ala, runkoluku hehtaaria kohden, runkoluku kuviolla, läpimitta, pituus, tilavuus ja tukkiprosentti (Trestima 2013). Mobiilisovelluksen antamien puustotunnusten luotettavuutta on testattu 2013–2014 Evon opetusmetsän alueella ja aiheesta on Maria Sirviö tehnyt opinnäytteen. Mobiilisovellusten kehittyessä kuvien analysointi taimikoissa voisi olla myös mahdollista. Tapio Kamppila testasi Evolla Trestimaa taimikoissa, mutta testaus ei tuottanut hyviä tuloksia (Viitala R. 26.5.2015).



Kuva 13. Trestimasovellus Windows-pohjaisessa älypuhelimessa (Trestima 2013).

5.2.6 Laserkeilauksen huippuysiköt

Laserkeilauksen huippuysiköiden ryhmittymä on perustettu vuonna 2014. Huippuysiköiden tutkimusryhmittymää johtaa professori Juha Hyypä. Tutkimusryhmittymään on valittu 14 yksikköä Suomesta ja valinnan on tehnyt Suomen Akatemia. Huippuysiköiden toimintakausi on 2014–2019 ja tavoitteena on saada aikaan toimivaa yhteistyö eri organisaatioiden, tieteidenalojen ja maiden välillä. <http://laserscanning.fi/>-sivustolle on koottu ajankohtaista tietoa laserkeilausteknologian menestystarinoista, tutkijoista ja uutisista niin Suomesta kuin maailmalta.

Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen ryhmää johtaa Markus Holopainen. 4D-GeoScientists on tutkimusryhmä, joka tutkii lento-, maasto- ja liikkuvan laserkeilauksen sekä tutkasatelliittikuvauksen tulevaisuuden menetelmiä. Tutkimuskohteina ovat laserkeilaukseen perustuva puulajitulkinta, puuston kasvun mittaaminen, kasvupaikan puuntuotoskyvyn määrittäminen, puutavaralajien estimointi, metsäomaisuuden arvonmääritys, hakkuukohteiden ja metsätuhojen paikantaminen. (Holopainen, Schildt 2014.)

Vuonna 2012 on aloitettu Suomen Akatemian rahoittama projekti yhdessä Wienin TU:n kanssa, jonka tavoitteena on kehittää metsätomografian mittaustekniikoita, tutkakartoitukseen ja laserkeilaukseen perustuvia innovaatioita ja sovelluksia metsien inventointiin. Projektin on määrä kestä 31.8.2016 asti. Projektia vetää myös Juha Hyypä. (Paikkatietokeskus 2012.)

5.2.7 Tampereen Teknillinen Yliopisto

Tampereen Teknillisessä Yliopistossa (TTY) kehitetään metsän 3D-mallinnustekniikkaa maasta käsin tehtävällä keilauksella. Maasta käsin tehtävät keilaukset ovat huomattavasti helpompia ja halvempia toteuttaa ja

Taimikkokuvuioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

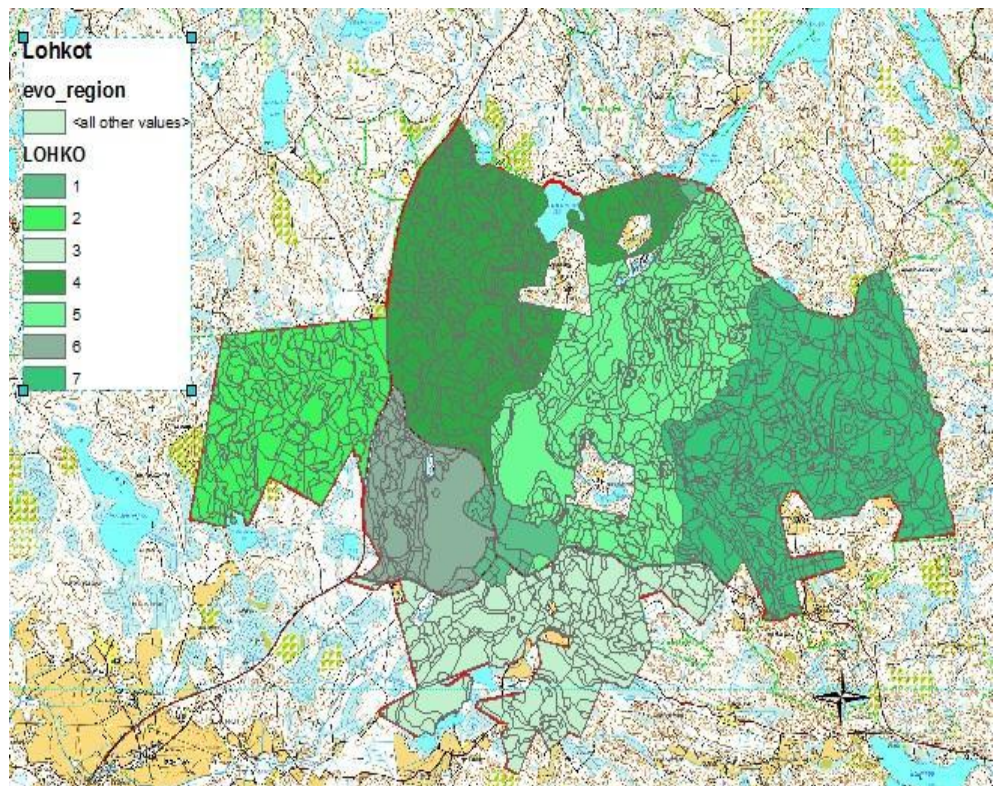
niistä saatava tieto mahdollistaa yksittäisten puiden kolmiulotteisen mallin rakentamisen. TTY:llä on kehitetty matemaattinen malli josta saadaan tietoa muun muassa puun rungosta, runkotilavuudesta, oksien kasvusta, oksien koosta ja sijainnista. Parin hehtaarin metsästä on mahdollista saada 3D-mallinnus saman päivän aikana ja tämä tarjoaa tulevaisuudessa myös metsänomistajille mahdollisuuden saada ajantasaisempaa tietoa metsistään. Kehitteillä on myös metsän kasvua arvioiva 4D-mallinnus ja monikanavainen spektriskanneri joka havainnoi puun laatua kosteudesta tyvilahoon. (Europeus J. 2015, 8-10)

TTY on ollut kesällä 2014 kuvaamassa kopterilla Metsätehon projektissa Evon Pöllönpesän kankaan alueella. Näitä aineistoja ei ollut saatavilla opinnäytteeseen. (Viitala R., haastattelu 26.5.2015)

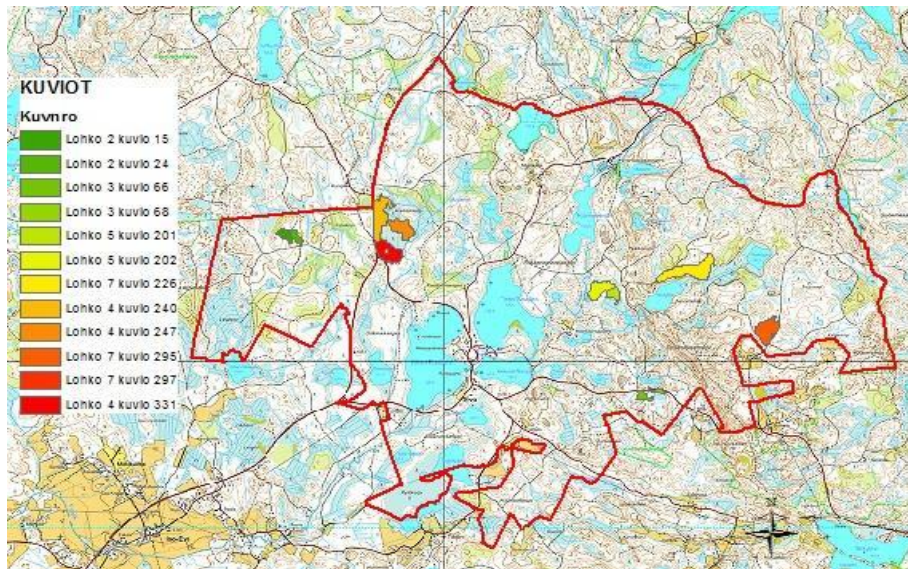
6 ESIMERKKIKOHDE EVON OPETUSMETSÄ

Opetusmetsän pinta-ala on noin 2 070 hehtaaria ja kuvioita on yhteensä 1 806 kappaletta pohjatietona olevassa metsäsuunnitelmassa. Opetusmetsä on jaettu seitsemään eri lohkoon (kuva 14). Taimikoista on valittu pinta-alaltaan suurempia kuvioita esimerkkitaimikoiksi (kuva 15). Taimikoissa on männyn ja kuusen taimikoita, hoitamattomia, hoidettuja ja osittain hoidettuja kuvioita. Esimerkkitaimikot on inventoitu maastossa linjoittain. Lisäksi niistä on käytettävissä olevan laserkeilausaineiston avulla tehty kasvillisuuspintamallit.

Kehitysluokat vaihtuvat taimikoissa nopeammin kuin varttuneemmissa metsikkökuvioissa. Moni ylispuustoinen taimikko on käsitelty ja ylispuuta poistettu viimeisen keilauksen jälkeen. Tämä kuvaa hyvin ajantasaisen laserkeilausdatan tarvetta taimikoita inventoitaessa.



Kuva 14. Evon opetusmetsä on jaettu seitsemään eri lohkoon, ArcGIS 10.2. kuvakaappaus.



Kuva 15. Taimikkokuvioista valikoituneet taimikot, ArcGIS 10.2 kuvakaappaus.

6.1 Maastoinventointi

Esimerkkitaimikot on inventoitu linjoittain maastossa 3,99 metrin ympyräkoealoilla. Koealojen määränä on käytetty 15 kpl 1-3 ha kuviolla, 20 kpl 3-5 ha kuviolla ja 25 kpl 5-10 ha kuviolla. Ympyräkoealoilta on laskettu puulajeittain taimet ja arvioitu korkeudet. Koealoista on laskettu keskiarvopituus koko kuviolle, puulajisuhteet ja tiheys.

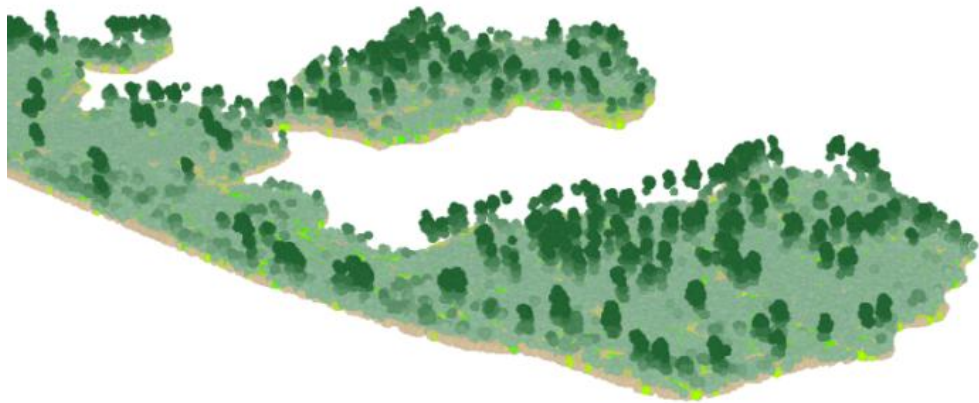


Kuva 16. Taimikon inventointia kuviolla 24.

6.2 Laserkeilausaineiston mallinnus

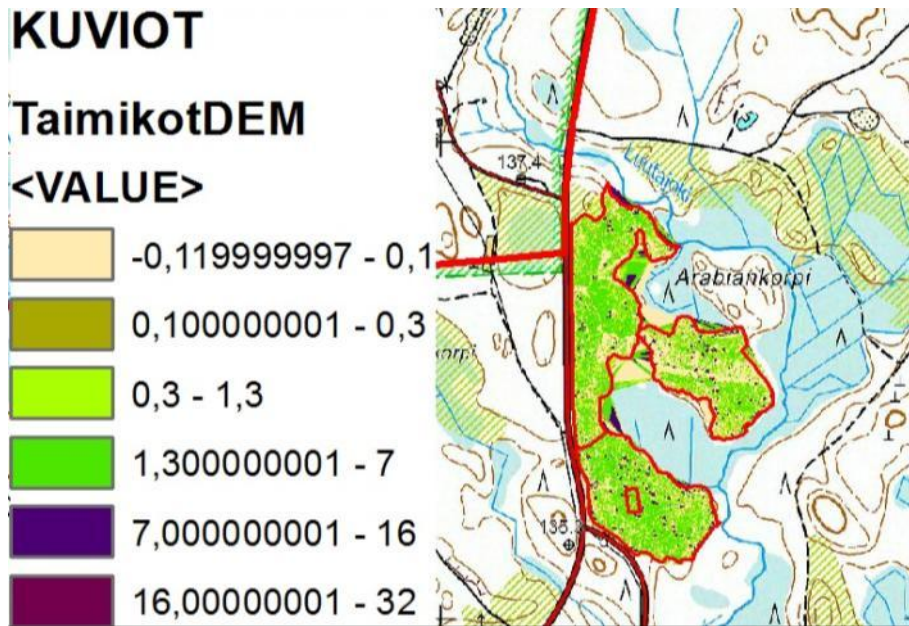
Evon opetusmetsän metsäsuunnitelman tiedot on siirretty Tforest-metsäsuunnitteluohjelmasta ArcGIS 10.2-paikkatietosovellukseen. Tforestista saatu kuviointi- ja ominaisuustieto on uusimman metsäsuunnitelman mukainen. Laserkeilausaineiston pistepilven käsittelyyn on ladattu Lastools-ohjelma.

Opinnäytteessä käytetyt pistepilvet ovat ladattu las-muotoisina. Jos aineisto on suuri, pakattu las-tiedosto on laz-muodossa. Taimikot sijaitsevat laserkeilausaineiston karttalehdillä m4134h2, m4143e3, m4143g1 ja m4143g3.



Kuva 17. Pistepilveä: lohko 4, kuviot 240, 247 ja 331. Kuvakaappaus ArcScene 10.2:ssa.

Kuvioiden laserkeilausaineistoa on käsitelty ArcGIS:ssä ja ArcScenessä. DEM, eli Digital Elevation Model, on malli kasvillisuuspinnan korkeudesta maanpintaan nähden. Maanpintamalli DTM, eli Digital Terrain Model kuvaa taas maanpinnan eroja merenpintaan nähden. CHM on Canopy Height Model eli kasvillisuuden korkeus malli. ArcGIS:ssa voidaan näiden mallien avulla luokitella aineistosta muun muassa eri korkeudet eri väreihin. Korkeus on määritelty metreissä. Taimien korkeudet ovat pienissä taimikoissa T1 noin 0,3-1,3 m ja T2 varttuneissa taimikoissa 1,3-7 m kuusella ja männyllä (kuva 17).



Kuva 18. DEM luokitus, kuvakaappaus ArcGIS 10.2 kuviot 240, 247 ja 331.

TIN, eli Triangulated Irregular Network, on kolmioverkkona kuvattua korkeusmallia. Tässä tapauksessa TIN on otettu kasvillisuuden pinnasta (kuva 18). Tulevaisuudessa kun tiheämpää laserkeilausaineistoa on saatavilla, voidaan tehdä taimikoistakin luotettavia DTM- ja DEM-mallinnuksia, laskea kasvillisuuden korkeus CHM-mallin avulla ja tehdä TIN-mallin avulla 3-D mallinnuksia. Tällä hetkellä nämä mallinnukset ovat jo toimivia varttuneen puuston analysoinnissa. Tiheyden tai runkoluvun luotettava inventointi laserkeilausaineistosta vaatii uudenlaista laserkeilaustekniikkaa ja aineistoa.



Kuva 19. Taimikkokuvioita idästä länteen päin kuvattuna ArcScenessä, TIN ja DEM mallit ovat päällekkäin.

6.3 Lohko 2 taimikkokuviot 15 ja 24

Kuviot 15 ja 24 ovat istutettu kuuselle vuonna 2006. Kuusen taimet ovat olleet 2-vuotiaita istutusvaiheessa. Kuvio 15 on luokiteltu harvaksi ja kehityskelvottomaksi metsänhoitosuunnitelmassa. Kuvion 15 kasvupaikkaluokitus on lehtomainen kangas ja maa-ainesluokitus hienoainesmoreeni. Kuvion pinta-ala on 1,5 hehtaaria. Kuvio 24:n kasvupaikkaluokitus on tuore kangas ja maa-ainesluokitus karkea moreeni. Kuvion pinta-ala on 1,1 hehtaaria. Kuviot 15 ja 24 sijaitsevat vierekkäin lohkolle 2. Toisin kuin kuvio 15, kuvio 24 on luokiteltu kehityskelpoiseksi ja hyväksi. Eri maa-ainesluokituksen lisäksi kuvioilla on käytetty eri taimiainesta. Kuvio 15 sijaitsee itärinteessä (kuva 20) kun taas kuvio 24 tasaisemmalla alueella (kuva 21).

Maastoinventoinnissa kuvion 15 taimien keskipituudeksi on saatu 2,9 metriä ja taimien kokonaistiheydeksi 2145 kpl/ha. Taimista 85 % on kuusta, jolloin kuusen taimia olisi 1850 kpl/ha. Kuvio 24 taimien kokonaistiheys on 2545 kpl/ha, keskipituus 2,65 metriä ja kuusien osuudeksi taimista on saatu 1860 kpl/ha. Tämän maastoinventoinnin perusteella kuvioden kuusen tainten tiheydessä ei ole juuri eroa. Kokonaistiheys on kuviolla 15 pienempi. Kuvioilla oli harvennettu kevään 2015 aikana.



Kuva 20. Lohko 2, taimikkokuvio 15.

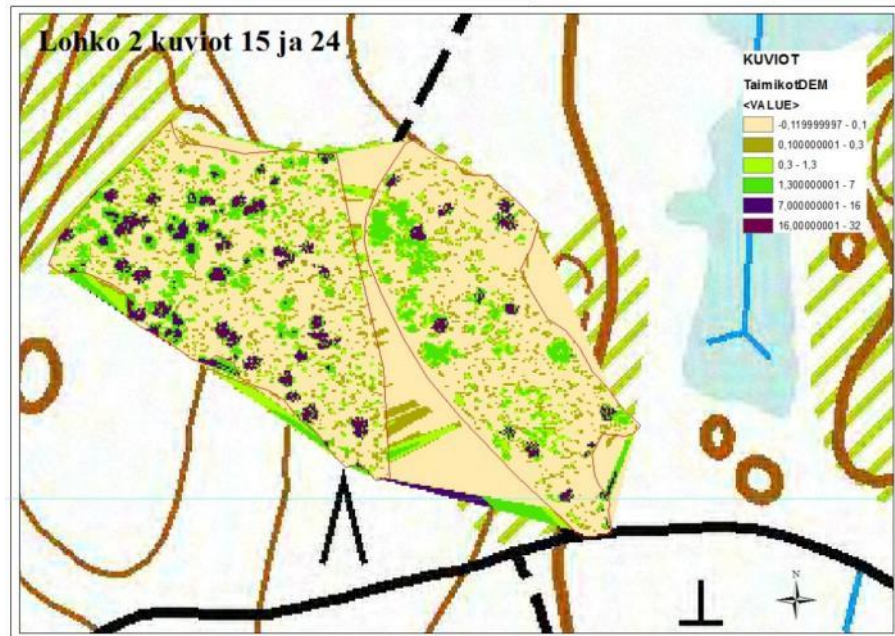


Kuva 21. Lohko 2, taimikkokuvio 24.

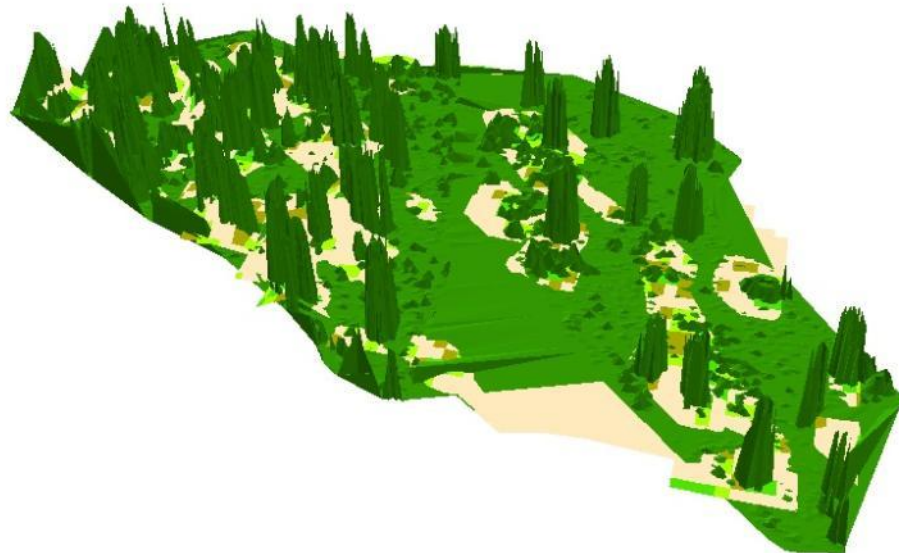
Kuvioita 15 ja 24 voidaan verrata kasvillisuuspisteiden korkeuksien ja laserpulslien osumien avulla (kuva 22). Kuviolla 24, oikealla puolella, on huomattavissa muutama suurempi kirkkaan vihreä alue, verrattuna

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

aukkoiseksi luokiteltuun kuvioon 15. Kuvio 24 on luokiteltu hyväksi ja kehityskelpoiseksi ja tämä edellyttäisi kuvion 24 kirkkaan vihreiden alueiden tasaisempaa ilmenemää. Ylispuustoisuus ilmenee selvemmin kuviolla 15 kuin kuviolla 24 tumman violetteina ja purppuroina kohtina. Ylispuustoisuuden erot tulevat selvästi esiin 3D-muodossa TIN-mallinnuksessa (kuva 23).



Kuva 22. Lohkon 2 kuvioiden 15 ja 24 pistepilvestä muodostettu DEM kasvillisuuspintamalli ArcMap 10.2



Kuva 23. DEM- ja TIN-mallinnus päällekkäin kuviolla 15 ja 24 ArcScene.

6.4 Lohko 3 taimikkokuviot 66 ja 68

Kuvio 66 on luontaisesti syntynyt kuusen taimikko. Kasvupaikkaluokitus korvelle on tuore kangas tai vastaava suo ja maalaji turve. Pinta-alaa kuviolla on 1,1 hehtaaria. Kuvio 68 on pienempi kuin kuvio 66, pinta-alaa kuviolla 68 on 0,4 hehtaaria. Kuvio 68 on myös luontaisesti syntynyt kuusen taimikko (Vuori P. 2015). Metsäsuunnitelmätietojen mukaan pääpuulajina olisi kummallakin kuviolla hieskoivu. Kasvupaikkaluokitus kuviolle 68 on kuivahko kangas tai vastaava suo, jonka takia kuviot on aikoinaan numeroitu erikseen. Kummatkin kuviot on luokiteltu metsäsuunnitelmassa kehityskelpoisiksi, tyydyttäviksi, aukkoisiksi ja harvaksi.

Maastoinventoinnissa kävi selväksi että kummallakin kuviolla pitäisi tehdä taimikon harvennus mahdollisimman pian (kuva 24). Kuvion 66 taimien kokonaistiheys on 7 105 kpl/ha ja kuviolla 68 taimien tiheys oli vielä suurempi 7 260 kpl/ha. Kummankin kuvion taimien pituus on noin 3 metriä. Puulajisuhteissa kuusi näyttäisi olevan kummallakin kuviolla pääpuulaji, poiketen metsäsuunnitelman tiedoista. Kuviolla 66 puulajisuhteet ovat kuusi 71%, koivu 20%, mänty 8,7% ja muut 0,3%. Kuviolla 68 puulajisuhteet ovat kuusi 72,5%, koivu 22,3% ja mänty 5,2%.



Kuva 24. Kuviolla 66 taimikon inventointi on haastavaa.

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Kasvillisuuspintamalli DEM antaa kuvioista 66 ja 68 hyvin samanlaisen kuvan kuin maastoinventointi (kuva 25). Vaalean vihreät pienen taimikon rajat täyttävät pisteet ovat sijoittuneet tasaisesti ja hieman kirkkaamman vihreitä varttuneen taimikon rajat ylittäviä pisteitä on joukossa myös tasaisesti. Kuvioiden 66 ja 68 TIN-mallista erottuu muutama korkeampi puu (kuva 26).



Kuva 25. Lohkon 3 kuvioiden 66 ja 68 pistepilvestä muodostettu DEM kasvillisuuspintamalli ArcMap 10.2.



Kuva 26. DEM ja TIN mallinnus päällekkäin kuvioilla 66 ja 68 ArcScene.

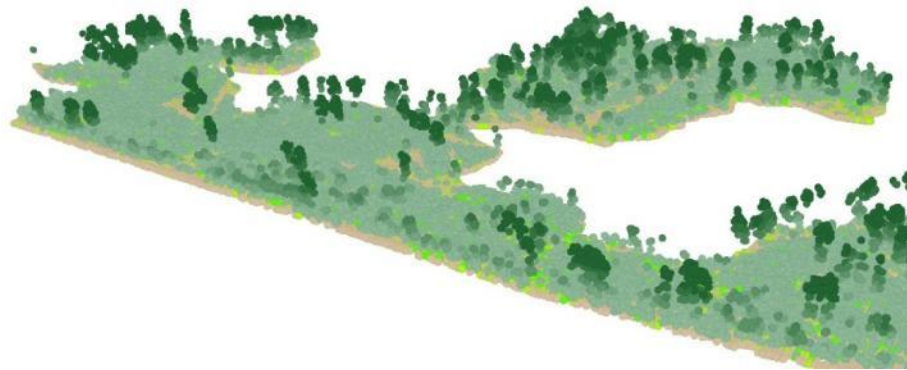
6.5 Lohko 4 taimikko kuviot 240, 247 ja 331

Kuvio 240 on männyn ylispuustoinen taimikko joka on osittain hoidetussa tilassa keväällä vuonna 2015. Siemenpuuasentoon kuvio on uudistettu vuonna 1998, vuonna 2003 on siemenpuut poistettu. Vuonna 2013–2014 taimikko on osittain käsitelty. (Vuori P. 2015).

Kasvupaikkaluokitus on kuivahko kangas ja maalaji karkea moreeni. Kuvio on kehityskelpoinen, mutta luokiteltu tyydyttäväksi ylitiheyden ja osittaisen hoitotarpeen takia. Kuvion pinta-ala on 5,7 hehtaaria.

Maastoinventoinnissa saatu männyn osuus koko puustosta on 88,5% ja männyn tiheys 2 770 kpl/ha. Taimien kokonaistiheys on 3 130 kpl/ha. Keskipituudeksi on saatu 5,30 metriä.

Kuvion 240 pistepilvestä on havaittavissa ylispuustoisuus. Vaikka ylispuuta on poistettu, on niitä silti jäljellä. Pistepilvestä saa myös jonkinlaisen käsityksen matalamman puuston olemassaolosta ja tasaisuudesta.



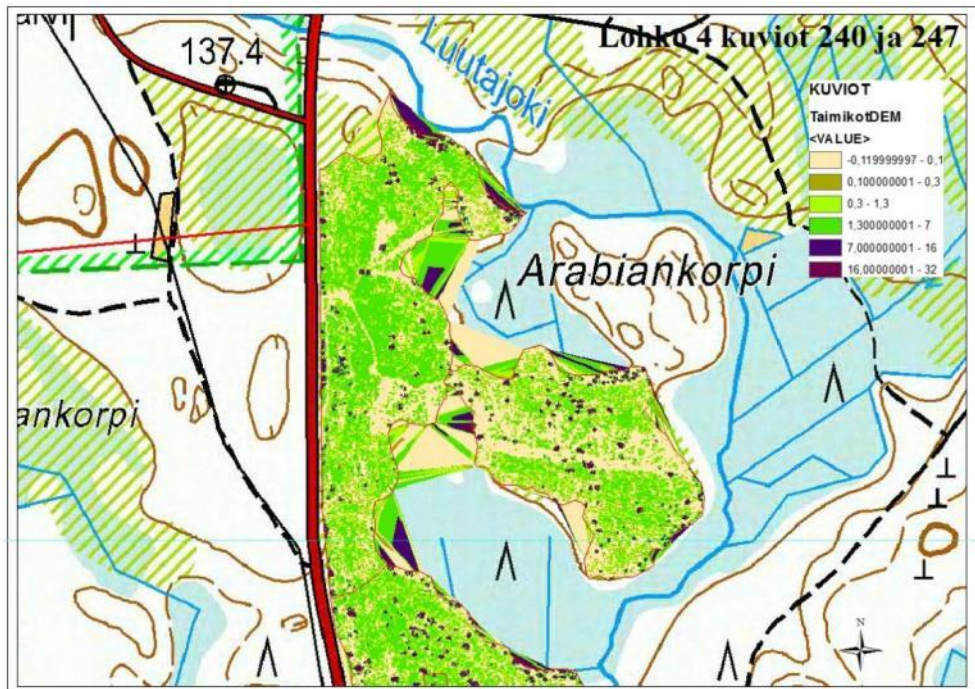
Kuva 27. Lohko 4 kuvio 240 pistepilvi etualalla, ArcScene.

Kuvio 247 on hoitamatta keväällä 2015 vuoden 2004 männyn siemenpuuston poiston jäljiltä. Siemenpuuasentoon kuvio on uudistettu vuonna 1998. (Vuori P. 2015). Kasvupaikkaluokitus on kuivahko kangas ja maalaji karkea moreeni. Kuvio 247 on luokiteltu kehityskelpoiseksi, tyydyttäväksi, ylitiheäksi, hoitamattomaksi. Kuvion koko on 3,9 hehtaaria. T-Forestin metsäsuunnitelmasta löytyy seuraava lisäteksti: ”42470 Lievää aukkoisuutta muuten riittävän tiheä kestävä hirtvauriot.” Maastoinventoinnissa kokonaistiheydeksi on saatu 5770 kpl/ha ja männyn osuus taimista 94%. Keskipituudeksi on saatu 4,25 metriä. Kuvion 247 metsäsuunnitelman tiedot ovat ajan tasalla ja hoidontarve tiedossa. Kuvio on tarkoitus hoitaa oppilastyönä samoihin aikoihin kuvioiden 240 ja 331 kanssa vuoden 2015 aikana (Vuori P. 2015).

Kuviot 240 ja 247 sijaitsevat länteen laskevassa rinteessä vierekkäin. Kasvillisuuspintamalli näyttää kummallakin kuviolla suhteellisen tasaiselta (kuva 28). Valtaväriä on kirkas vihreä joka kuvaa varttunutta taimikkoa T2 pituus 1,3-7 metriä. Ylispuiden kohdat erottuvat selkeinä tumman violetteina kohtina kuviolla. Kuvioissa on havaittavissa aukkoja, jotka saattavat olla ajouria, aukkoja taimikossa tai laserkeilausaineistossa. Kuvio 240 on kuvassa 28 vasemmalla puolella. Kuvion kirkkaan vihreässä

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

alueessa on huomattavissa tiheämpiä ja harvempia alueita, mutta osittainen hoito, josta epätasaisuus olisi voinut kertoa, on tehty vasta keilauksen jälkeen.



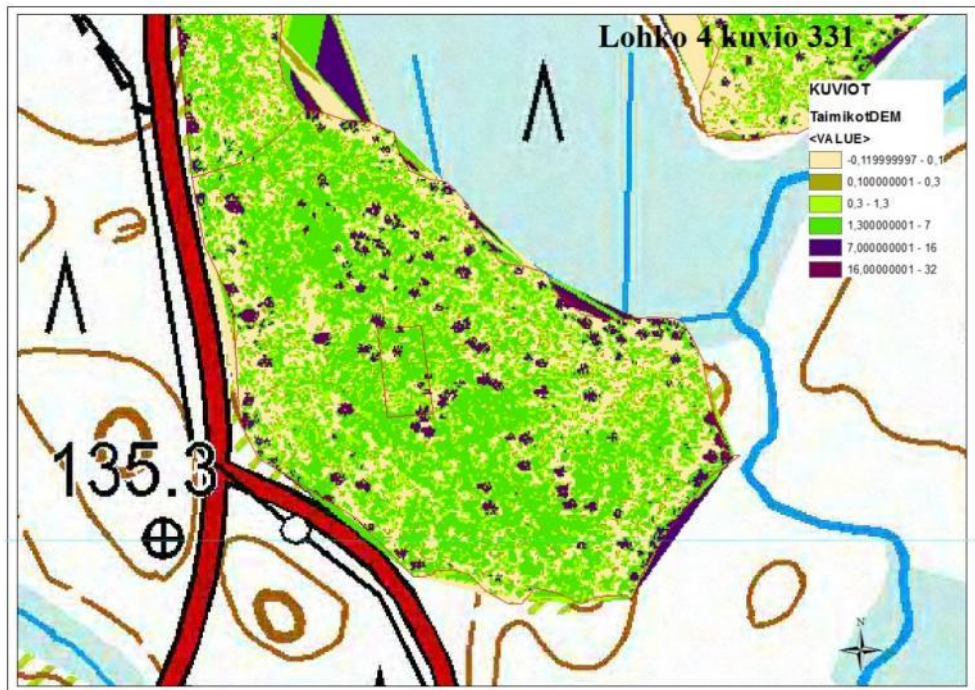
Kuva 28. Lohkon 4 kuvioiden 240 ja 247 pistepilvestä muodostettu DEM kasvillisuuspinntamalli ArcMap 10.2.

Kuvio 331 on männyn ylispuustoinen taimikko jota on hoidettu kuvion 240 kanssa samaan aikaan. Kuvio 331 on osittain hoidettu, siemenpuuasento hakattu vuonna 1998 ja siemenpuut poistettu vuonna 2003. (Vuori P. 2015) Kokoa kuviolla on 4,7 hehtaaria. Kuvio on kehityskelpoinen, mutta luokiteltu tyydyttäväksi ylitiheyden ja osittaisen hoitotarpeen takia. Kasvupaikkaluokitus on kuivahko kangas ja maalaji karkea moreeni. T-Forestin metsäsuunnitelmasta löytyy seuraava lisäteksti: ”43310 Säästöpuuna jätetään kaikki mänty. Lehtikuuset poistetaan. Muutamia leku taimia. Leku ml osin 12. Vesakkoa ei haittaavassa määrin.” Maastoinventoinnissa kokonaistuon tiheydestä muiden taimien osuus on 3,3% joista suurin osa on lehtikuusta. Maastoinventoinnissa löytyi myös muutamia hirvituhoalueita (kuva 29). Taimien kokonaistiheydeksi on saatu 3 830 kpl/ha joista männyn taimia 3 408 kpl/ha. Keskipituus on 4,60 metriä.



Kuva 29. Hirvituhoja männyn taimikossa kuviolla 331.

Kuviolla 331 kasvillisuuspintamallissa on 240 ja 247 kuvioiden tavoin havaittavissa tasainen kirkkaan vihreä pisteytys kun taas ylispuustoisuus näyttää runsaammalta (kuva 30) Kuvio 331 on osittain hoidettu 2013–2014 keilauksen jälkeen. Laatuluokitus on edelleen ylitiheä, ja tiheys on selvästi havaittavissa DEM-mallista. 3D-mallinnuksesta (kuva 31) näkyy selvästi kuvion 331 suurempi ylispuiden määrä kuvan oikeassa laidassa.



Kuva 30. Lohkon 4 kuvion 331 pistepilvestä muodostettu DEM kasvillisuusintamalli ArcMap 10.2.



Kuva 31. DEM ja TIN mallinnus päällekkäin kuvioilla 240, 247 ja 331, ArcScene.

6.6 Lohko 5 taimikkokuvio 201 ja 202

Kuvio 201 on kylvetty männyille vuonna 2001. Ensimmäiset hoitotoimenpiteet kuviolla on tehty vuonna 2013. (Vuori P. 2015.) Kuvio 201 on 1,5 hehtaaria ja kasvupaikkaluokitus on kuivahko kangas ja maalaji karkea moreeni. Metsikön laatuluokitus on kehityskelpoinen, tyydyttävä, aukkoinen, harva. T-Forestista löytyy seuraava lisätteksti: ”52010 PV2. Heinittynyt voimakkaasti. Hirvituhoriski. Osin vt ja osin mt.” Kuivahko kangas ei heinitty helposti, mutta T-forestiin on kirjattu voimakas heinittymisen, jonka pystyi myös maastoinventoinnissa toteamaan. Metsikön laaduksi on merkitty kehityskelpoinen, tyydyttävä, aukkoinen, harva. Vuonna 2014 suoritettujen hoitotoimenpiteiden jälkeinen tila ei ole päivitetty metsäsuunnitelmiin inventointipäivämääristä huolimatta. Maastoinventoinnissa taimien kokonaistiheydeksi on saatu

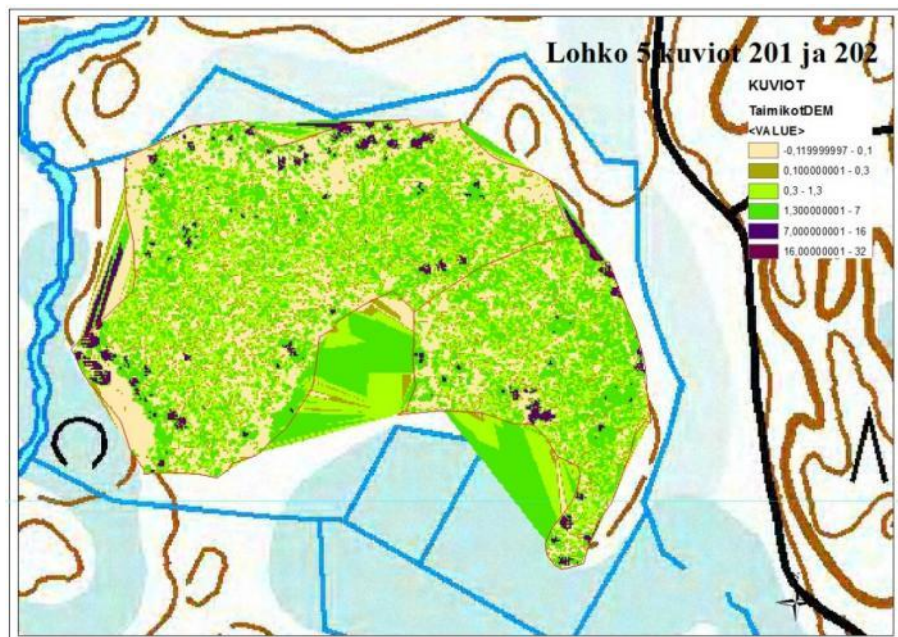
Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

2 707 kpl/ha. Näistä männyn osuus on 80% eli 2 165 kpl/ha. Kuusta on taimista on 11%, koivua 7% ja muuta puustoa 2%. Kokonaispituus on 4,35 metriä.

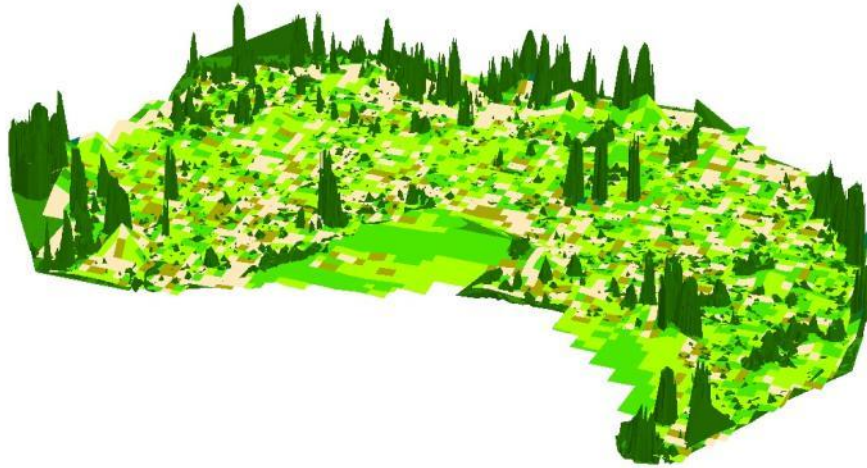
Kuvio 202 on samankaltainen kuvion 201 kanssa. Kylvö männylle on tehty vuonna 2001, hoitotoimenpiteet suoritettu vuonna 2014. Kuvion 202 koko on 3,6 hehtaaria. Kasvupaikkaluokitus kankaalla on kuivahko kangas ja maalaji karkea moreeni. Metsikön laatuluokitus on kehityskelpoinen, tyydyttävä, aukkoinen, harva.

Maastoinventoinnissa männyn osuudeksi on saatu 72,5%, kuusen 11,3%, koivun 9,3% ja muiden puulajien 6,9%. Taimien kokonaistiheys on 3 450 kpl/ha joista mäntyä 2 500 kpl/ha. Keskipituudeksi on saatu 5,40 metriä.

Lohkon 5 kuvioiden 201 ja 202 kasvillisuuspintamallit näyttävät samanlaisilta toisiinsa verrattuna. Pienempi kuvio 201 oikealla alhaalla näyttää ehkä hieman tiheämmältä verrattuna kuvioon 202 (kuva 32). Maastoinventoinnissa kuvio 202 kumminkin osoittautui tiheämmäksi. Hoitotoimenpiteet on tehty kuvioille 2014 keilauksen jälkeen. Kasvillisuuspintamalleissa ylispuustoisuus ei tule selvästi esiin, muutamia puuryhmiä on tosin huomattavissa. Taimikko taas näyttää tasaiselta, mutta aukkoisuutta on huomattavissa enemmän kuin tiheäksi luokitelluilla kuvioilla 240, 247 ja 331. Aukkoisuus tulee selvemmin esiin kuvioiden 201 ja 202 TIN-mallista (kuva 33).



Kuva 32. Lohkon 5 kuvioiden 201 ja 202 pistepilvestä muodostettu DEM kasvillisuuspintamalli ArcMap 10.2.



Kuva 33. DEM ja TIN mallinnus päällekkäin kuvioilla 201 ja 202, ArcScene.

6.7 Lohko 7 taimikkokuvio 226

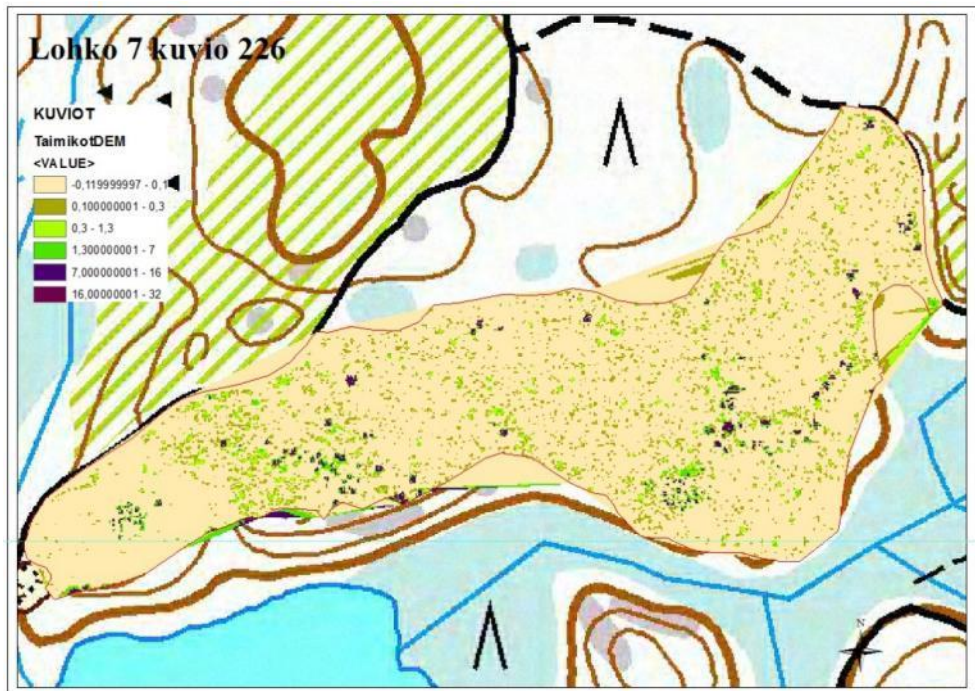
Kuvio 226 on yhdistetty yhdeksi isommaksi kuvioksi uusimmassa metsätaloussuunnitelmassa. Kuvio on kulotettu vuonna 2011 keväällä, jonka jälkeen kylvetty männylle. Kuviolle on istutettu saman vuoden syksyllä myös kuusen taimia. Vuoden 2015 kevääseen mennessä hoitotoimenpiteitä ei ole tehty (Vuori P. 2015). Kasvupaikkaluokitus on tuore kangas ja maalaji karkea moreeni. Kuvio 226 on luokiteltu kehityskelpoiseksi ja hyväksi. Kuvioon liitetyt vanhat kuvionumerot ovat 126, 226, 228, 231, 232 ja 233. Kokoa kuviolla 226 on 7 hehtaaria. Kuusen istutuksesta on kulunut neljä vuotta. Ensimmäisiä hoitotoimenpiteitä ovat yleensä heinän ja muun kasvillisuuden perkaus. Maastoinventoinnissa pitkän mallinen kuvio on inventoitu yhdessä linjassa 25 koelalalla päästä päähän. Kuviolla on hyvin kuivia ja kivisiä kohtia, sekä soistumia. Koivun vesakko on vallannut suurimman osan kuviosta 56,4 %. Männyn taimia kuviolla on toiseksi eniten 23,7 % koko puustosta ja kuusen taimia 18 %. Kokonaistiheydeksi on saatu 5296 tainta hehtaarilla. Kokonaispituudeksi on saatu 0,72 m. Kuviolla on jonkun verran horsmaa ja vadelmaa, joten perkaus voisi olla ajankohtaista.



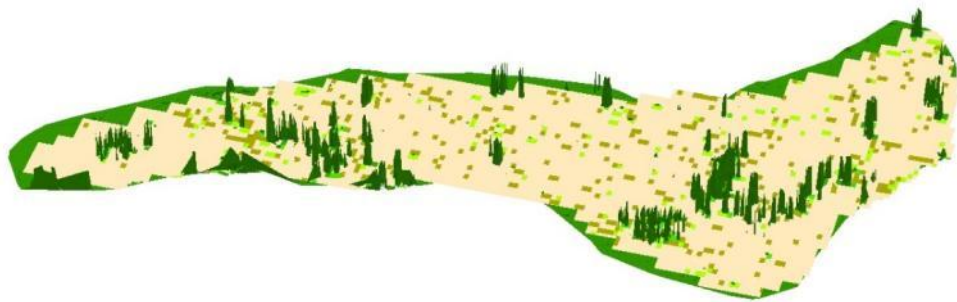
Kuva 34. Kuvio 226 erottuu selvästi viereisistä kuvioista.

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Alue on istutettu vuosi ennen laserkeilausta, joten alue näyttää kasvillisuuspintamallissa aukealta (kuva 34). Kuviolle 226 on osunut muutama matalan kasvillisuuden piste, mutta pistepilvi on hyvin harvaa 10 cm ja 1,3 m korkeudella. Maanpintamallin intensiteettien tutkimiseen kulotetut alat voivat antaa erilaisia arvoja kuin muuten muokatut, tai muokkaamattomat. Kuvassa 34. näkyy selvästi muutama korkeampi ylispuu. Kuva 35 on TIN-malli kuviolta 226.



Kuva 35. Lohkon 7 kuvion 226 pistepilvestä muodostettu DEM kasvillisuuspintamalli ArcMap 10.2.



Kuva 36. DEM ja TIN mallinnus päällekkäin kuviolla 226, ArcScene.

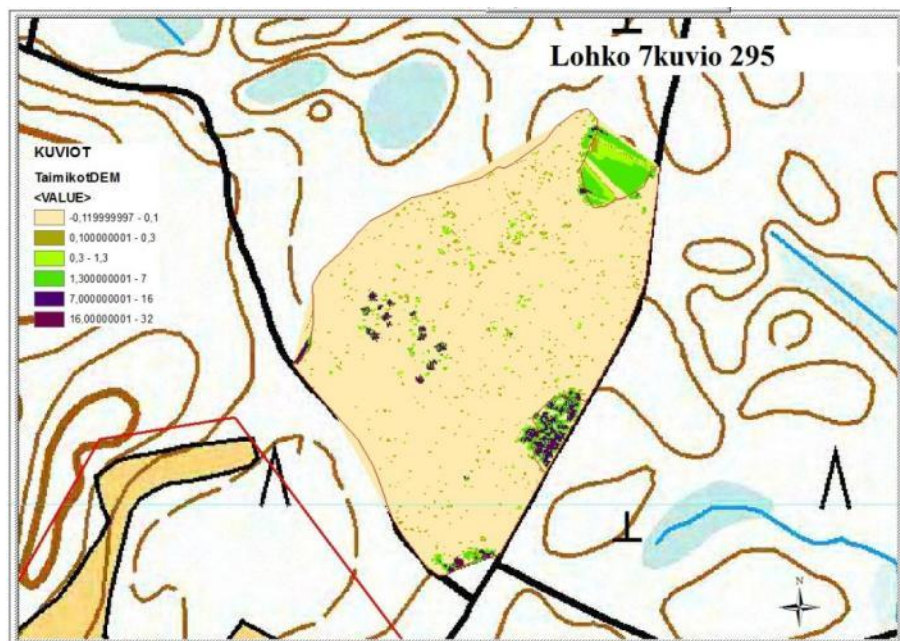
6.8 Lohko 7 taimikkokuvio 295

Kuvio 295 on kulotettu keväällä 2007 jonka jälkeen se on sekä kylvetty männylle että istutettu kuuselle. Vuonna 2013 alueelle on suoritettu taimikon perkaus. Pääpuulajiksi on muodostunut mänty. (Vuori P. 2015)

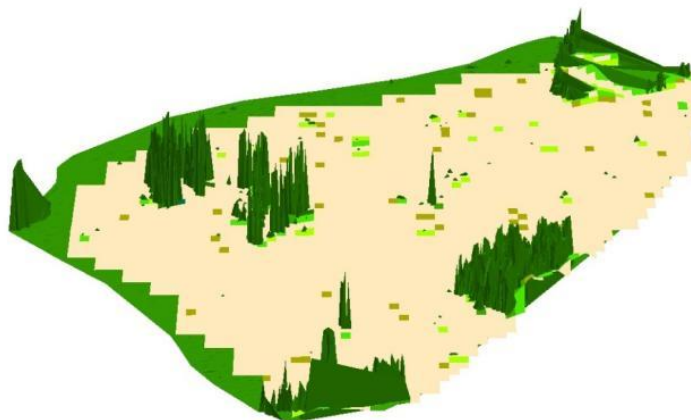
Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Metsäsuunnitelmiin merkitty pääpuulaji on kuusi. Maastoinventoinnissa männyn osuus taimista on 85% kun kuusen on vain 5,7%. Koivua kokonaispuustosta oli 9% Kasvupaikkaluokitus on kuivahko kangas ja maalaji karkea moreeni. Kuvion pinta-ala on 4,6 hehtaaria. Hoidontarve kuviolla 295 ei ole ajankohtainen koska kuviolla on suoritettu perkaus vuonna 2013 ja laatu on luokiteltu hyväksi. Kokonaistiheydeksi on saatu 7 340 tainta hehtaarilla. Kuviolla on havaittavissa tiheämpiä ja harvempia kohtia. Kuvion koealat otettu kahdessa linjassa. Keskipituudeksi on saatu kaksi metriä.

Kuvion 295 taimikon perkaus on suoritettu keilauksen jälkeen. Kasvillisuuspintamallista voisi päätellä kuvion olevan harva tai vähintään juuri uudistettu (kuva 37). Uudistus kuviolla on kumminkin tehty vuonna 2006. TIN-mallista erottuu joukko korkeampaa puustoa. Saattaa olla että jostain syystä kuvion alueelle ei ole osunut tarpeeksi laserpulseja.



Kuva 37. Lohko 7 kuvio 295 DEM-kasvillisuuspintamalli ArcMap 10.2.



Kuva 38. DEM- ja TIN-mallinnus päällekkäin kuviolla 295, ArcScene.

7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Uskon uuden teknologian tuovan paljon kaivattua luotettavuutta inventointiin ja laskemaan inventoinnin kuluja. Toivon että opinnäytetyö antaa kehitysajatuksia ja taustatietoa taimikon inventoinnin kehittämiseen. Varsinkin maasta ohjattavat kevyet lennätettävät keilaimet tulevat mahdollistamaan aivan uudenlaisen tiedon saannin. Teknologia kehittyy hurjaa vauhtia ja laitteiden hankintahinnat tulevat varmasti jatkossa myös laskemaan. Ensimmäinen kevyt laserkeilain kehitettiin vuonna 2009 ja nyt 2014 markkinoille lanseeratut keilaimet ovat edelleen mullistaneet alaa. Jos uusien laitteiden saatavuus ja käytettävyys yleistyy ja eri tahot tekevät yhteishankintoja, voidaan kustannuksia saada entistä alemmas. Yhteistyö eri tahojen välillä on jo lisääntynyt, mutta kilpailu alalla on myös kovaa.

Evon opetusmetsän vuoden 2014 laserkeilausaineisto on saatavilla todennäköisesti vuoden 2015 syksystä. Jotta aineistoa voitaisiin käyttää, tarvittaisiin maastokäynnit samalta ajalta kun kuviot on keilattu. Uusi teknologia mahdollistaisi tulevaisuudessa ajantasaisen tutkimusaineiston saannin. Kun keilauksen voi suorittaa aineiston käsittelijä, saa aineiston luokiteltua tarvittavalla tavalla ja aineisto on saatavilla saman päivän sisällä. Intensiteettiarvoja on helpompi tarkastella, kun saadaan kenttänäkemys ja aineistonkäsittelytaito kohtaamaan. Evon opetusmetsän alueelta valikoituneista taimikkokuvioista suurin on 7,8 ha, jonka keilaus kestäisi Tampereen teknillisen yliopiston antamalla aikamääreillä noin neljä-viisi päivää. Suurin osa taimikkokuvioista on 1-3 hehtaarin kokoisia

Vuoden 2012 laserkeilausaineistoa tarkastellessa osa kuvioista on luokiteltavissa aukeiksi, jotka vuoden 2015 ovat selvästi pieniä taimikoita. Osasta ylispuustoisista taimikoista ylispuut on poistettu. Monelle kuviolle on tehty taimikon harvennuksia keilauksen jälkeen. Tietojen ristiriitaisuudet estävät luotettavan tarkastelun tällä hetkellä olemassa olevilla tiedoilla.

Laserkeilaustekniikka tulevaisuudessa voisi mahdollistaa arvion siitä, mikä on tarvittava täydennysistutuksen määrä ja istutuskohdat. Tässä tapauksessa pitäisi myös arvioida, miksi kohteen uudistaminen on epäonnistunut ja onko täydennysistutus kannattavaa. Laserkeilauksen maahan osuneiden pulssien intensiteetistä voisi olla mahdollista selvittää kosteustasapainoa ja mahdollisesti myös ravinteisuutta, kivisyyttä tai ravinnepuutoksesta kärsiviä kohtia. Kivisyys vaikuttaa muun muassa istutuskuluihin.

Opinnäytteen aihe oli hyvin ajankohtainen. Taimikoiden inventointi maastoinventointeina on aikaa vievää ja tuo kustannuksia. Kun taimikoita voidaan keilata maasta ohjattavalla lennokilla, on edelleen kuljettava taimikoiden luokse, mutta keilausaika on minimaalinen maastossa tehtävään inventointiin ja tieto, minkä keilausaineistosta voi saada, tuo mukanaan aivan uudet ulottuvuudet.

LÄHTEET

- Allen St. Pierre. Norml artikkeli 20.12.2012. Viitattu 27.4.2015.
<http://blog.norml.org/2012/12/20/u-s-law-enforcement-seeking-to-use-drones-for-domestic-policing/>.
- Centre of Excellence in Laser Scanning Research, 2015a. Viitattu 4.5.2015. <http://laserscanning.fi/>.
- Centre of Excellence in Laser Scanning Research, 6.5.2015b. Viitattu 20.5.2015. <http://www.fgi.fi/coelasr/publications.html>
- Csanyi Nora, Toth K. Charles 2006. Ohio State University. Lidar data accuracy: The impact of pulse repetition rate. Viitattu 12.5.2015.
<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/fall2006/0009.pdf>.
- Europeus Juha 3/2015. Metsätalous. toukokuu 3/2015, Tieto metsistä tarkentuu 8-10.
- Higgins Sean 2014. Velodyne Announces \$ 7999 "Puck" Lidar sensor. News. <http://www.sparpointgroup.com/news/vol12no37-velodyne-announces-puck-lidar-sensor>
- Holopainen Markus, Schildt Sanna 2014. Helsingin Yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta.
http://www.helsinki.fi/mmttk/esittely/uutiset/2013/130607_huippuyksikko_laserkeilaus.html.
- Hyytiäinen Osmo 3/2011. Kohdennetun maastoinventoinnin kehittäminen. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Metsätalouden koulutusohjelma.
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26266/oppari%20Osmo.pdf?sequence=1>
- Illman Jarkko ja Pökälä Jarno 2014. Laserpisteaineiston ja kuvio- sekä koealakohtaisten maastomittausten vertailu Evon opetusmetsän alueella. Hämeen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 19.5.2015.
<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71198/Metsanmittaus%20Evon%20alueellavol2.pdf?sequence=1>.
- Isenburg Martin 1.2.2014. Clone wars and drone fights. Viitattu 18.5.2015. <http://rapidlasso.com/category/uav/>.
- Kamppila Tapio 2013. Laserkeilauksen luotettavuus taimikoissa. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 17.4.2015.
<https://www.theseus.fi/handle/10024/65547>.
- Korpela Ilkka 2004-2010. Helsingin Yliopisto. Laserkokeiluja Hyytiälän metsissä ja soilla 2004-2010. Viitattu 18.5.2015.

http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Korpela_Oct_8_2010_100dpi.pdf.

Korpela Ilkka 28.8.-1.9.2006. Helsingin Yliopisto. Hyytiälän kaukokartoituskenttä. Puusto- ja koealamittauksia vuodesta 1995. Viitattu 18.5.2015.

http://www.helsinki.fi/~korpela/HYDE_REF/Plots/TaimikkoData2006/Taimikot_2006.html.

Korpela Ilkka 4.2.2010. Metsähallitus. Monimuuttujainen ja –tavoitteinen luontoinventointi-seminaari. Turvemaiden kartoitus ilmasta käsin. Viitattu 17.5.2015.

<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/ajankohtaista/seminaarit/Ltiseminaari/Documents/korpela.pdf>.

Kulha Pauliina 7.9.2009. Laserkeilauksen intensiteetti metsänhoitotarpeen arvioinnissa. Viitattu 18.6.2015.

http://www.mmsaatio.fi/www/fi/rahoituksen_tuloksia/2009.php?we_objektID=84

Lehtonen Pekka, haastattelu 2013. Suomalainen laserkeilaus on maailman huippua. Maankäyttö 2/2013. Viitattu 28.4. 2015.

http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk213/mk213_1638_lehtonen.pdf.

Linko Mikael 7.12.2014, sivu 13. Multikoptereiden käytön rajoitteet ja ongelmat. Aalto-yliopisto. Kandidaatintyö. Viitattu 21.4.2015.

http://cse.aalto.fi/en/midcom-serveattachmentguid-1e48788e3abc28a878811e4b7decfb0ebbf4b1d4b1d/sci_2014_linko_mikael.pdf

Maanmittauslaitos 2015a. Laserkeilausaineisto. Viitattu 30.3.2015.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>.

Maanmittauslaitos 2015b. Laserkeilaustekniikka. Viitattu 31.3.2015.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>.

Maanmittauslaitos 2015. Paikkatietohakemisto. Metatieto laserkeilausaineisto.

<http://www.paikkatietohakemisto.fi/catalogue/ui/metadata.html?uuid=0e55977c-00c9-4c46-9c87-dee6b27d2d5c&lang=fi>)

Metsälehti 2013. Uuden metsänomistajan kirja. Metsäkustannus Oy.

Viitattu 1.4.2015. <http://www.metsalehti.fi/Kirjat/Uuden-metsanomistajan-kirja/>.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2006a. Hyvän metsänhoidon suositukset. Helsinki: Metsäkustannus Oy 2006.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2006b. Maastotaulukot. Hyvän metsänhoidon suositukset. Helsinki: Metsäkustannus Oy 2006.

Metsäkoulu 2005. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna: Karisto Oy 2005.

Narinen Mika 2014. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston hyödyntäminen yhdyskuntatekniikassa. Oulun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyön liite 2/1. LAS-tiedoston sisältö. Viitattu 8.5.2015.
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73975/LAS_TIEDOSTO_liite_narinen.pdf?sequence=1.

Nordic Geo Center Oy 1.12.2013. Todellisuutta tallentamassa-blogi. Nro 20: Ympäristön reaaliaikainen 3D-mallinnus. Viitattu 14.4.2015.
<http://www.geocenter.fi/blogi/category/laserkeilaus/page/4/>

Nordic Geo Center Oy 1.11.2014. Todellisuutta tallentamassa-blogi. Ensimmäinen lennökkiskanneri toimitettu. Viitattu 14.4.2015.
<http://www.geocenter.fi/blogi/category/laserkeilaus/riegl/page/2/>.

Närhi Matti, Maltamo Matti, Packalén Petteri, Peltola Heli ja Soimasuo Janne. Metsätieteen aikakauskirja 1/2008: 5-15. Viitattu 12.5. 2015.
<http://www.metsantutkimuslaitos.fi/aikakauskirja/full/ff08/ff081005.pdf>.

Paikkatietokeskus MML 2012. Mobile Forest Tomography - Interaction of Lidar/Radar Beams with Forests Using Mini-UAV and Mobile Forest Tomography
<http://www.fgi.fi/fgi.fi/tutkimus/tutkimushankkeet/mobile-forest-tomography-interaction-lidarradar-beams-forests-using-mini>.

Paikkatietokeskus MML 2014. Laserkeilauksen huippuyksikkö 2014-2019. Viitattu 11.5.2015.
<http://www.fgi.fi/fgi.fi/tutkimus/tutkimushankkeet/laserkeilauksen-huippuyksikk%C3%B6-2014-2019>.

Paikkatietomarkkinat 5.11.2014. Helsinki Pasila.

Phoenix Aerial Systems 2014. Viitattu 18.5.2015. <http://www.phoenix-aerial.com/>.

Puuntuottaja 18.3.2012. Raha on paras metsäneuvoja. Metsäistä asiaa puuntuottajan näkökulmasta. Viitattu 11.5.2015.
(<http://www.puuntuottaja.com/taimikon-runkoluvun-maarittaminen/>)

Riegl 31.3.2015a. Info sheet Riegl RiCOPTER. Viitattu 18.5.2015.
http://www.riegl.com/fileadmin/user_upload/Datasheets/ULS/RiCOPTER_at_a_glance_2015-03-31.pdf.

Riegl 31.3.2015b. Info sheet Riegl VUX-1. Viitattu 18.5.2015.
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/DataSheet_VUX-1_2015-03-31.pdf.

Sisef 2011. iForest (2011) 4:100-106. Analysis of full-waveform LiDAR data for forestry applications: a review of investigations and methods. Viitattu 5.5.2015. <http://www.sisef.it/iforest/pdf/?id=ifor0562-004>.

Trestima metsänmittausjärjestelmä 2013. Viitattu 20.5.2015.
<https://www.trestima.com/products/>.

UPM Metsämaailma 2008-2013. Taimikoninventointi. Viitattu 22.5.2015.
<https://www.metsamaailma.fi/fi/SalesAndServices/Sivut/Taimikoninventointi.aspx>.

Valtionvarainministeriö 12.1.2015. Julkisen hallinnon paikkatiedon viitearkkitehtuuri v. 0.8. Viitattu 5.5.2015.
<https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/julkisen-hallinnon-paikkatiedon-viitearkkitehtuuri-v-0-8>.

Ässämäki Aino ja Selander Annikka 25.9.2013. Metsään-lehti. Taimikonhoidossa valitaan kasvatettavat puut. Viitattu 4.5.2015.
<http://metsaan-lehti.fi/fi/artikkeli/taimikonhoidossa-valitaan-kasvatettavat-puut>)

HAASTATTELUT

Viitala R. Lehtori. Hämeen ammattikorkeakoulu metsätalouden koulutusohjelma. Haastattelu 24.4.2015

Viitala R. Lehtori. Hämeen ammattikorkeakoulu metsätalouden koulutusohjelma. Haastattelu 26.5.2015

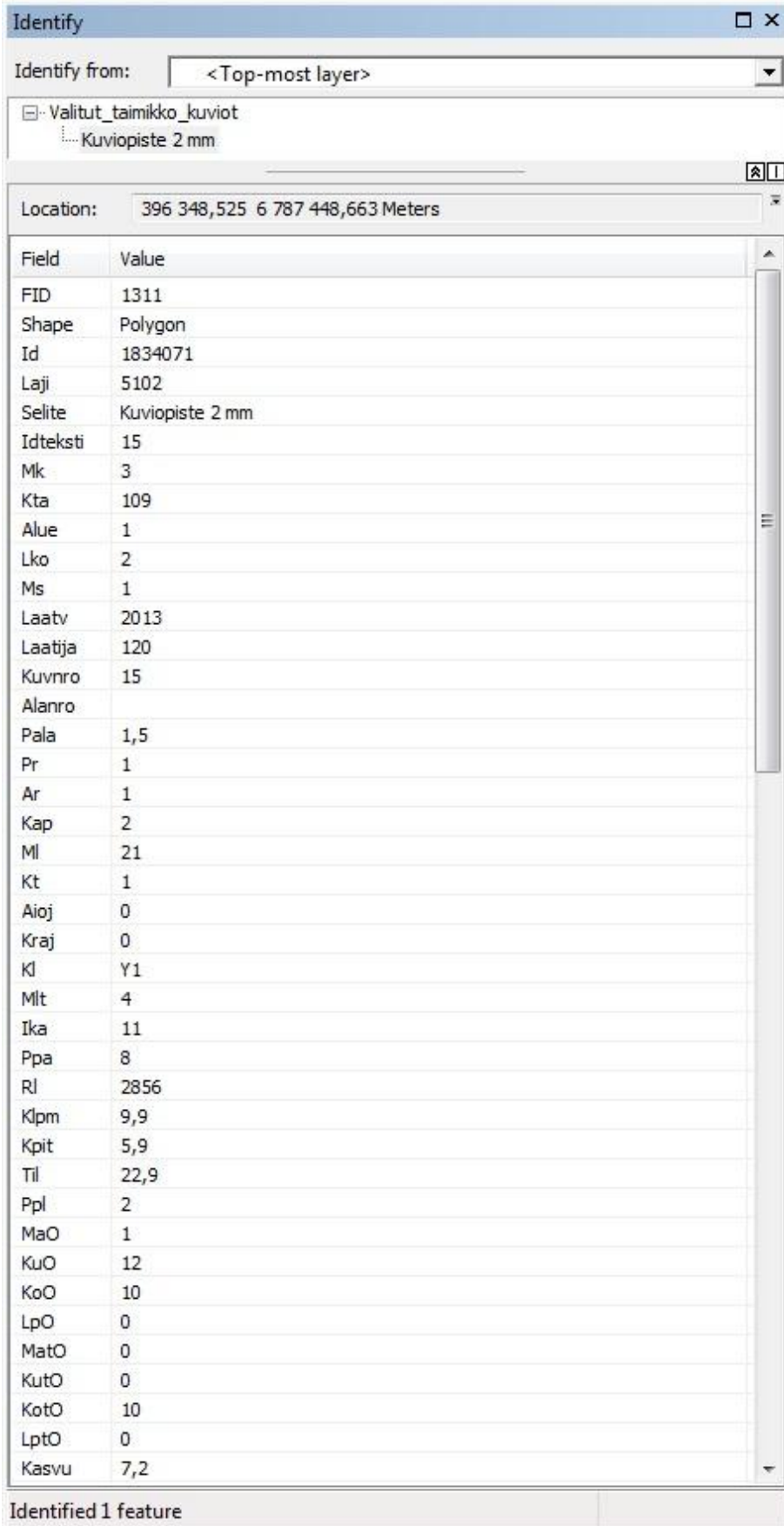
Vuori P. Assistentti. Hämeen ammattikorkeakoulu metsätalouden koulutusohjelma Evo. Haastattelu 14.4. 2015

KOEALAT		yht		
mä 5,6% ku 85% ko 7,5 % muut 1,9 %	puulajijakauma			
Lohko 2 taimikkokuvio				
15	1,5 ha	10,73		
	pituus	2,92		
mä 11% ku 73% ko 14,7 % muut 0,5%	puulajijakauma			
Lohko 2 taimikkokuvio				
24	1,1 ha	12,73		
	pituus	2,65		
mä 8,7% ku 71% ko 20 % muut 0,3%	puulajijakauma			
Lohko 3 taimikkokuvio				
66	1,1 ha	35,53		
	pituus	3,00		
mä 5,2% ku 72,5 % ko 22,3 %	puulajijakauma			
Lohko 3 taimikkokuvio				
68	0,4 ha			
	pituus			
		16	yht	
mä 88,5 % ku 1,6% ko 7,5% muut 2,4%	puulajijakauma	mä16ko2		
Lohko 4 taimikko kuvio				
240	5,7 ha	18	15,65	
	pituus	5,5	5,33	
mä 94% ku 0,7% ko 4% muut 1,3%	puulajijakauma	mä21ko4		
Lohko 4 taimikko kuvio				
247	3,9 ha	25	28,85	
	pituus	5	4,23	
mä 89% ku 2,7% ko 5% muut 3,3%	puulajijakauma	mä25		
Lohko 4 taimikko kuvio				
331	4,7 ha	22	19,15	
	pituus	6	4,60	
mä 80% ku 11% ko 7% muut 2%	puulajijakauma	yht		
Lohko 5 taimikkokuvio				
201	1,5 ha	13,53		
	pituus	4,33		
		16	yht	yht
mä 72,5% ku 11,3% ko 9,3 % muut 6,9 %	puulajijakauma	mä14ko1ka1		
Lohko 5 taimikkokuvio				
202	3,6 ha	16	17,25	
	pituus	4	5,40	
mä 23,7% ku 18% ko 56,4% muut 1,9%	puulajijakauma	mä9ku5ko15	mä10ku1ko14	
Lohko 7 taimikkokuvio	7 ha	29	25,00	26,48

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

226				
	pituus	0,5	0,70	0,72
mä 85% ku 5,7 % ko 9 % muut 0,3%	puulajijakauma	mä26ku1ko1	yht.	
Lohko 7 taimikkokuvio				
295	3 ha	28	36,70	
	pituus	1	2,03	

Tforestista siirretyt taimikoiden ominaisuustiedot



Field	Value
FID	1311
Shape	Polygon
Id	1834071
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	15
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	2
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	120
Kuvnro	15
Alanro	
Pala	1,5
Pr	1
Ar	1
Kap	2
MI	21
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
KI	Y1
Mlt	4
Ika	11
Ppa	8
RI	2856
Klpm	9,9
Kpit	5,9
Til	22,9
Ppl	2
MaO	1
KuO	12
KoO	10
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	10
LptO	0
Kasvu	7,2

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

Valitut_taimikko_kuviot

Kuviopiste 2 mm

Location: 396 446,421 6 787 430,804 Meters

Field	Value
FID	539
Shape	Polygon
Id	1834163
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	24
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	2
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	120
Kuvnro	24
Alanro	
Pala	1,1
Pr	1
Ar	1
Kap	3
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	1
Ika	10
Ppa	3,3
Rl	4449
Klpm	11,8
Kpit	8,6
Til	14,9
Ppl	2
MaO	2
KuO	4
KoO	9
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	8
LptO	0
Kasvu	4,6

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

☐ Valitut_taimikko_kuviot
 Kuviopiste 2 mm

Location: 400 087,955 6 785 609,210 Meters

Field	Value
FID	1590
Shape	Polygon
Id	1833424
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	66
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	3
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	120
Kuvnro	66
Alanro	
Pala	1, 1
Pr	1
Ar	2
Kap	3
Ml	60
Kt	8
Aioj	4
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	2
Ika	15
Ppa	3,7
Rl	10781
Klpm	2,4
Kpit	2,8
Til	8,1
Ppl	4
MaO	0
KuO	4
KoO	4
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	4,5

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

Valitut_taimikko_kuviot

Kuviopiste 2 mm

Location: 400 256,627 6 785 652,205 Meters

Field	Value
FID	1586
Shape	Polygon
Id	1833408
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	68
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	3
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	120
Kuvnro	68
Alanro	
Pala	0,4
Pr	1
Ar	3
Kap	4
Ml	60
Kt	8
Aioj	4
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	2
Ika	16
Ppa	5,2
Rl	11181
Klpm	8,3
Kpit	7,2
Til	21,4
Ppl	4
MaO	0
KuO	4
KoO	17
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	5
LptO	0
Kasvu	5,4

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

Valitut_taimikko_kuviot

Kuviopiste 2 mm

Location: 397 339,193 6 787 751,347 Meters

Field	Value
FID	547
Shape	Polygon
Id	1833967
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	240
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	4
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	987
Kuvnro	240
Alanro	
Pala	5,7
Pr	1
Ar	1
Kap	4
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	3
Ika	0
Ppa	0
Rl	0
Klpm	0
Kpit	0
Til	0
Ppl	1
MaO	0
KuO	0
KoO	0
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	0

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

☐ Valitut_taimikko_kuviot
 Kuviopiste 2 mm

Location: 397 543,981 6 787 546,559 Meters

Field	Value
FID	545
Shape	Polygon
Id	1833958
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	247
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	4
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	987
Kuvnro	247
Alanro	
Pala	3,9
Pr	1
Ar	1
Kap	4
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	3
Ika	0
Ppa	0
Rl	0
Klpm	0
Kpit	0
Til	0
Ppl	1
MaO	0
KuO	0
KoO	0
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	0

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

☐ Valitut_taimikko_kuviot
 Kuviopiste 2 mm

Location: 397 396,343 6 787 292,559 Meters

Field	Value
FID	736
Shape	Polygon
Id	1833987
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	331
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	4
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	120
Kuvnro	331
Alanro	
Pala	4,7
Pr	1
Ar	1
Kap	4
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	3
Ika	12
Ppa	14,7
Rl	7557
Klpm	8,8
Kpit	5,2
Til	45
Ppl	1
MaO	38
KuO	0
KoO	7
LpO	0
MatO	18
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	8

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

Valitut_taimikko_kuviot

Kuviopiste 2 mm

Location: 399 790,298 6 786 740,306 Meters

Field	Value
FID	945
Shape	Polygon
Id	1832984
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	201
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	5
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	987
Kuvnro	201
Alanro	
Pala	1,5
Pr	1
Ar	1
Kap	4
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	2
Ika	0
Ppa	0
Rl	0
Klpm	0
Kpit	0
Til	0
Ppl	1
MaO	0
KuO	0
KoO	0
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	0

<

|||

>

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

☐ Valitut_taimikko_kuviot
 Kuviopiste 2 mm

Location: 399 648,084 6 786 816,374 Meters

Field	Value
FID	703
Shape	Polygon
Id	1832974
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	202
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	5
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	987
Kuvnro	202
Alanro	
Pala	3,6
Pr	1
Ar	1
Kap	4
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	2
Ika	0
Ppa	0
Rl	0
Klpm	0
Kpit	0
Til	0
Ppl	1
MaO	0
KuO	0
KoO	0
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	0

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

Valitut_taimikko_kuviot

Kuviopiste 2 mm

Location: 400 395,533 6 786 991,661 Meters

Field	Value
FID	1053
Shape	Polygon
Id	1833064
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	226
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	7
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	987
Kuvnro	226
Alanro	
Pala	7,8
Pr	1
Ar	1
Kap	3
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	A0
Mlt	1
Ika	0
Ppa	0
Rl	0
Klpm	0
Kpit	0
Til	0
Ppl	3
MaO	0
KuO	0
KoO	0
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	0

Identified 1 feature

Taimikkokuvioiden inventointi nyt ja tulevaisuudessa

Identify

Identify from: <Top-most layer>

☐ Valitut_taimikko_kuviot
 Kuviopiste 2 mm

Location: 401 404,259 6 786 389,733 Meters

Field	Value
FID	1271
Shape	Polygon
Id	1833618
Laji	5102
Selite	Kuviopiste 2 mm
Idteksti	295
Mk	3
Kta	109
Alue	1
Lko	7
Ms	1
Laatv	2013
Laatija	987
Kuvnro	295
Alanro	
Pala	4,6
Pr	1
Ar	1
Kap	4
Ml	11
Kt	1
Aioj	0
Kraj	0
Kl	Y1
Mlt	1
Ika	0
Ppa	0
Rl	0
Klpm	0
Kpit	0
Til	0
Ppl	2
MaO	0
KuO	0
KoO	0
LpO	0
MatO	0
KutO	0
KotO	0
LptO	0
Kasvu	0

Identified 1 feature